

---

**Aufwand und Probleme  
für Gesetzgeber und Automobilindustrie  
bei der Kontrolle der Schadstoffemissionen  
von Personenkraftwagen  
mit Otto- und Diesel-Motoren**

– dargestellt am Beispiel ausgewählter Exportländer –

Von der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina  
zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

**Dissertation**

von  
Dipl.-Ing. Wolfgang Berg  
aus Zerbst

Eingereicht am	:	30. 10. 1980
Mündliche Prüfung am	:	29. 5. 1981
Berichterstatter	:	Prof. Dr.-Ing. H. Müller
Mitberichterstatter	:	Prof. Dr.-oec. H. Wilhelm

1982

**Efforts and Problems  
for Legislators and Automobile Manufacturers  
related to Emission Control  
on Passenger Cars  
with Gasoline- and Diesel Engines**

- discussed on the Example of selected Export Countries –

Technical University "Carolo Wilhelmina"  
Braunschweig  
Germany

Doctoral Thesis  
by

Dipl.-Ing. Wolfgang Berg

Date of Publication: June 1982



---

Homines cogitantes sumus. Nostrum est  
tempus futurum liberorum nostrorum  
cum prudentia rationeque formare.

## Inhalts-Übersicht - Summary of Contents

	<b>Seite/Page</b>
<b>Vorwort</b>	0
<b>Kurzfassung</b>	I
<b>Abstract</b>	II
<b>Zusammenfassung</b>	III
<b>Inhaltsangabe</b>	XIII
<b>Table of Contents</b>	XXX
<b>Teil I</b>	
Einleitung – Zielsetzung – Übergeordnete Zusammenhänge	1
<b>Part I</b>	
Introduction – Objective – General Facts	1
<b>Teil II</b>	
Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Kalifornischen- und 49-Staaten- Emissionskontrollgesetzgebung der USA für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren	53
<b>Part II</b>	
Legislative Efforts for the Determination, Limitation and Reduction of Pollutant Emissions from Automobiles discussed by Means of the Historical Development of the US- California and 49 States Emission Control Legislation for Passenger Cars with Gasoline- and Diesel-Engines	53
<b>Teil III</b>	
Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifikation, Produktion und Betrieb von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Kalifornischen – und 49-Staaten Emissionskontrollgesetzgebung der USA	185
<b>Part III</b>	
Efforts and Problems for the Automobile Manufacturer for the Certification, Production and Operation of Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines under the US-California- and 49 States Emission Control Legislations	185
<b>Teil IV</b>	
Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Japanischen Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren	443
<b>Part IV</b>	
Legislative Efforts for the Determination, Limitation and Reduction of Pollutant Emissions from Automobiles discussed by Means of the Historical Development of the Japanese Emission Control Legislation for Passenger Cars with Gasoline- and Diesel-Engines	443

<b>Teil V</b>	
Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifikation, Produktion und Betrieb von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Japanischen Emissionskontrollgesetzgebung	469
<b>Part V</b>	
Efforts and Problems for the Automobile Manufacturer for the Certification, Production and Operation of Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines under the Japanese Emission Control Legislations	469
<b>Teil VI</b>	
Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren	493
<b>Part VI</b>	
Legislative Efforts for the Determination, Limitation and Reduction of Pollutant Emissions from Automobiles discussed by Means of the Historical Development of the Swedish Emission Control Legislation for Passenger Cars with Gasoline- and Diesel-Engines	493
<b>Teil VII</b>	
Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifikation, Produktion und Betrieb von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung	545
<b>Part VII</b>	
Efforts and Problems for the Automobile Manufacturer for the Certification, Production and Operation of Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines under the Swedish Emission Control Legislations	545
<b>Teil VIII</b>	
Ausblick	561
<b>Part VIII</b>	
Outlook	561
<b>Anhang</b>	
Literatur	567
Abkürzungen und Begriffserläuterungen	607
Danksagung	615
Curriculum	617
<b>Appendix</b>	
Literature	567
Abbreviations and Explanation of Terms	607
Acknowledgements	615
Curriculum	617

## Vorwort

Die Anregung zur vorliegenden Arbeit ergab sich aus meiner langjährigen Tätigkeit im Pkw-Motorenversuch der Daimler-Benz AG bei der Bearbeitung von Aufgaben der Forschung, Entwicklung und Administration auf dem Gebiet der Emissionskontrolle an Pkw und Pkw-Motoren und hier besonders bei den Problemen der Schadstoffherabsetzung unter staatlichen Auflagen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Scherenberg, ehemals Vorstandsmitglied der Daimler-Benz AG und verantwortlich für Forschung und Entwicklung, sei hiermit Dank gesagt für die Schaffung der personellen Voraussetzungen zur erfolgreichen Bewältigung dieser Aufgaben.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Heinz C. Hoppe, Vorstandsmitglied der Daimler-Benz AG und verantwortlich für den Vertrieb (Inland/Export) des Hauses Daimler-Benz, dessen spezielle Unterstützung nicht nur zum wesentlichen Bestandteil der Absicherung der Daimler-Benz-Verkaufsaktivitäten auf den Exportmärkten mit Emissionskontrollgesetzgebung wurde, sondern es mir auch ermöglicht hat, die historischen Informationen seitens ausländischer Umweltschutzbehörden zu beschaffen.

Herrn Prof. Werner Breitschwerdt, Vorstandsmitglied der Daimler-Benz AG und verantwortlich für Forschung und Entwicklung, sei für die Genehmigung zur Veröffentlichung der Arbeit gedankt.

Herrn Dr.-Ing. E.h. Kurt Obländer, Abteilungsdirektor und verantwortlich für die Pkw-Motorenentwicklung der Daimler-Benz AG, sage ich Dank für die Übertragung verantwortungsvoller Aufgaben, für sein langjähriges Vertrauen sowie die Schaffung freier Arbeitsbedingungen und Entfaltungsmöglichkeiten.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Herbert Müller, Institut für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Universität Braunschweig, der mich mit Rat und Tat bei der Anfertigung der Arbeit unterstützt und betreut hat, bin ich ebenso zu Dank verpflichtet wie Herrn Prof. Dr. oec. Herbert Wilhelm, der es mir ermöglicht hat, die Arbeit über rein technische Fragen hinauszuführen und die dargestellte Thematik in Bezug zu wirtschaftspolitischen Aspekten zu setzen.

Ich danke weiter allen Damen und Herren der US-EPA, des Kalifornischen ARB, des US-Department of Commerce, des Japanischen MOT, des Schwedischen TSV sowie der Daimler-Benz-Auslandsvertretungen in diesen Ländern für ihre bereitwillige Unterstützung bei der Informationsbeschaffung.

Ganz besonders aber danke ich meiner Frau, ohne deren Verständnis und Geduld, familiärer Einsatzbereitschaft und persönlicher Opfer mir die Anfertigung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

## Kurzfassung

Im Fortschreiten der Lebensgeschichte der heutigen Pkw-Antriebe Otto- und Dieselmotor wurden an diese beiden Aggregate ständig erweiterte Anforderungen gestellt. Lange Zeit bestimmten die aus technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten resultierenden Forderungen Tempo und Grad der technologischen Weiterentwicklung, bis - in automobilgeschichtlich jüngster Zeit - erstmals gesetzliche Auflagen zur Begrenzung der aus Pkw und Pkw-Motoren emittierten Schadstoffe zum neuen und zusätzlichen Entwicklungskriterium wurden. Diese Forderungen haben den weiteren Werdegang der Pkw-Antriebe entscheidend beeinflusst. Sie haben darüber hinaus massiv in die Produktionsabläufe der betroffenen Industrie eingegriffen und deutliche Spuren im nationalen und internationalen Wirtschaftsgeschehen hinterlassen.

Da sich diese Entwicklung über einen Zeitraum von rund zwei Jahrzehnten in einer bisweilen außergewöhnlichen Hektik und nach weltweit uneinheitlichen Verfahren vollzog, die selbst von den direkt betroffenen Akteuren auf Seiten des Staates und der Automobilindustrie heute kaum noch zu überblicken sind, war es die Zielsetzung dieser Arbeit, den Problemkreis der Schadstoff-Emissionskontrolle an Pkw unter gesetzlichen Auflagen in Inhalt und Konsequenzen einmal geschlossen darzustellen.

Die Arbeit untersucht daher zunächst anhand einer in ihren wesentlichen Meilensteinen erarbeiteten Entwicklungsgeschichte der Emissionskontrollgesetzgebungen ausgewählter Exportländer Ursprung, Ziele und Grenzen dieser behördlichen Auflagen und stellt den gezeigten Abläufen die historische Entwicklung der relevanten Emissionskontrolltechnologien gegenüber. Hierbei werden die mit Entwicklung, Zulassung, Produktion und Betrieb dieser Technologien verbundenen Probleme diskutiert sowie künftige Entwicklungsmöglichkeiten abgeschätzt. Das aufgezeigte Bild der Interaktion von Gesetzgeber und Industrie wird abgerundet durch Betrachtung des historischen Lernprozesses und der bei weiteren Gesetzesfortschreibungen sowie technischen Neuerungen zu berücksichtigenden Erkenntnisse.

Die Diskussion der industrieseitigen Bemühungen bestätigt die These, daß "die Technik, wenn man ihre gesamte Problematik erfassen will, nicht losgelöst von wirtschaftlichen Bezügen betrachtet werden kann" {1}. Bei der Behandlung der staatlichen Aktivitäten wird ebenfalls deutlich, daß sämtliche Bemühungen, mit einer Gesetzgebung den technischen Vorgang der Emission von Schadstoffen aus Automobilen zu reglementieren, im Grunde volkswirtschaftliche Problemstellungen repräsentieren.

In Erkenntnis dieser am Beispiel der Emissionskontrolle an Automobilen erarbeiteten Zusammenhänge zwischen technischen und wirtschaftlichen Aspekten schließt die Arbeit mit ernststen Bedenken hinsichtlich der Möglichkeit, die für die heute betroffene Bevölkerung und besonders für künftige Generationen anzustrebende Umweltqualität unter den existierenden und den in kommenden Jahren zu erwartenden wirtschaftlichen Zwängen sicherstellen zu können.

## ABSTRACT

The evolution of today's gasoline and diesel engines as passenger car power plants has been significantly affected by increasing more stringent governmental regulations. In the past, the degree of engineering progress was determined in large part by economic and technical factors. Recently, however, legislative demands have, for the first time, begun to significantly affect the development of these engines. These demands have substantially influenced the further evolution of both passenger car power sources and have heavily impacted on the automobile industry's production processes and have become an important part of the national and international economic scene.

The increase of government regulation of the automobile industry over the last two decades often took place in a rather hectic manner and far from international harmonization. As a result, even though the industry is a worldwide industry, it is difficult for any involved party or government to clearly identify the development of today's regulatory framework. Accordingly, the objective of this work was to discuss in a comprehensive manner the evolution of the complex area of legislatively mandated emission controls on passenger cars.

Therefore, first the history of the emission control legislation of selected export countries is compiled through the use of major development milestones discussing their sources, targets and limitations. These findings are then compared with the evolution of emission control technologies, which took place simultaneously with the enactment of the various legislative proposals. The latter is done by examining the problems connected with design and development, certification, production and practical use of these technologies and by estimating their future potentials. The composite picture of the interaction between government and industry is finally completed by a discussion of the historical learning process as well as the findings to be considered in future legislative activities and technical developments.

The discussion of the automobile industry's emission control efforts verifies the theory that "technology - if its comprehensive problematic nature shall be covered - cannot be considered separately from its economic relations" {1}. Further, during the discussion of governmental regulatory activities, it becomes obvious that all efforts to legislatively regulate the technical process of motor vehicle pollutant emissions basically are economical problems.

Realizing the interrelationship between technical and economical aspects - which has been demonstrated on the example of emission control on automobiles - this work concludes with serious concern about the possibility of providing the necessary degree of environmental quality for today's population and future generations under economical impacts, which already exist or can be expected in the forthcoming years.

## Zusammenfassung

Der Ursprung der heute in verschiedenen Ländern gültigen Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw und Pkw-Motoren liegt in *Kalifornien*. Eine außergewöhnliche Dynamik in den Bereichen Bevölkerungswachstum und Verkehrsaufkommen führte in diesem mit besonderen klimatischen Bedingungen konfrontierten Staat schon sehr früh zu den später auch in weiteren US-Bundesstaaten und anderen Ländern der Erde auftretenden Belastungen oder Schädigungen durch Luftverunreinigung. So wird im Jahre 1943 erstmals über ernsthafte Luftverschmutzung in Los Angeles berichtet, die Pflanzenschäden, Hals- und Augenreizungen sowie verschlechterte Sicht verursachte.

Auf Drängen der Öffentlichkeit wurden ab 1948 behördliche Bemühungen eingeleitet, diesen Problemen durch Senkung der Emissionen aus stationären Quellen zu begegnen. Die als historischer Meilenstein anzusehenden Untersuchungen von J. A. Haagen-Smit des "California Institute of Technology" aus dem Jahre 1952 führten jedoch zu der Erkenntnis, daß Kraftstoffverdunstungs- und Verbrennungsprodukte und damit Versorgung und Betrieb des Automobils einen wesentlichen Beitrag zum typischen Los Angeles Smog lieferten und legten den Grundstein für die im Dezember 1959 vom kalifornischen "State Board of Public Health" angenommenen Luftqualitätsstandards und die ersten Grenzwerte für Emissionen aus Automobilen, mit deren Erfüllung man bis 1970 wieder die Luftqualität des Jahres 1940 erreichen wollte.

Ab Modelljahr 1961 wurden dann freiwillig und ab 1964 per Gesetz die ersten Vorschriften zur Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse von Pkw mit Otto-Motoren eingeführt. Emissionen aus dem Auspuff erfuhren eine gesetzliche Begrenzung erstmals ab Modelljahr 1966 und Verdunstungsemissionen aus dem Kraftstofftank wurden ab Modelljahr 1970 limitiert. Die folgenden Jahre brachten kontinuierliche Verschärfungen der für diese Emissionen gültigen Zulassungsstandards, wobei ab Modelljahr 1980 auch Pkw mit Diesel-Motoren in die kalifornische Emissionskontrollgesetzgebung eingeschlossen wurden.

Kalifornien hat, wenn man die späteren Emissionskontrollgesetze anderer Behörden betrachtet, auch auf weiteren Gebieten Pionierleistungen vollbracht. Erwähnenswert sind hier zunächst die schon 1956 erfolgten Untersuchungen des Fahrverhaltens in Los Angeles zur Bestimmung eines Fahrzyklus für den Abgastest. Mit der Festlegung von 11 charakteristischen Fahrzuständen – aus denen der 7-mode Zyklus des weltbekannten Kalifornientests hervorging – war die Grundlage zur Anwendbarkeit des im "California Health and Safety Code" für das "California Motor Vehicle Pollution Control Board" vorgesehene Recht, Emissionskontrollsysteme zu zertifizieren, geschaffen, und die Ära der Prototypenzertifikation von Fahrzeugen mit Emissionskontrollsystemen war eingeleitet.

Des Weiteren erließ Kalifornien im Jahre 1969 die ersten gesetzlichen Forderungen zur Emissionsüberprüfung in der Serienproduktion von Neufahrzeugen, die ab April 1970 in Kraft traten. Sowohl diese Serienkontrollvorschriften wie auch die zuvor ge-

nannten Themen Fahrzyklus und Prototypenzertifizierung sind heute noch Gegenstand fortgesetzter Diskussionen.

Im Hinblick auf die Ereignisse späterer Jahre darf auch nicht unerwähnt bleiben, daß Kalifornien schon 1961 Annahmekriterien für bestimmte Emissionskontrollkonzepte derart formulierte, daß diese "keine Verbindungen erzeugen durften, die die Gesundheit der Bevölkerung gefährden können" {2}. Die Frage der Erzeugung von "neuen Verbindungen" durch bestimmte Emissionskontrollkonzepte wurde im Modelljahr 1975 mit der Einführung der Katalysatortechnologie wieder relevant (Sulfat- und Blausäureemissionen), das Kriterium "Automobilabgas und Gesundheit" im Zusammenhang mit der Emission von "unregulated pollutants" und hier besonders der als krebserzeugend angesehenen PNA's (Poly-Nuclear Aromatics) drohte Anfang der 80er Jahre zur Überlebensfrage für den Pkw mit Diesel-Motor zu werden.

Die Pionierarbeiten Kaliforniens auf dem Gebiet der Erforschung und Begrenzung der Emissionen aus Pkw und Pkw-Motoren gerieten in den zurückliegenden 20 Jahren mehr und mehr in Vergessenheit, besonders seitdem die US-Bundesbehörde mit hohem finanziellen und personellen Aufwand die Führungsrolle bei der Gesetzesfortschreibung übernahm. Nur die außergewöhnliche Situation hinsichtlich Klima, Bevölkerung und Verkehr haben es dem Staat Kalifornien bis heute ermöglicht, separate und meist schärfere Emissionsgrenzwerte von der Bundesbehörde genehmigt zu bekommen und damit auf dem Gebiet der Emissionskontrolle für mobile Quellen ein administratives Eigenleben zu erhalten. Mit der Annäherung an den technologischen Endstand der Emissionskontrolle (3-Weg Katalysatoren mit O<sub>2</sub>-Sonde beim Otto-Motor oder optimalem Einspritz- und Verbrennungsverfahren beim Diesel-Motor) wird diese Existenzberechtigung der kalifornischen Umweltschutzbehörde und der durch sie erlassenen separaten Emissionskontrollgesetzgebung immer stärker in Zweifel gezogen.

Die *US-Bundesgesetzgebung* zur Bekämpfung allgemeiner Luftverunreinigungen wurde durch den Zwischenfall in Donora (Pennsylvania) von 1948 ausgelöst, als Industrieabgase und Rauch durch eine Inversionswetterlage gestaut wurden, und tausende von Erkrankungen sowie einige Todesfälle zu beklagen waren. Erste Untersuchungen über die Zusammensetzung und biologische Auswirkungen von Auto-Abgasen begannen dann im Jahre 1959 durch den "Public Health Service" des "Department of Health, Education and Welfare". Spezielle Betonung der Abgasemissionen aus Automobilmotoren erfolgte jedoch erst im Zeitraum nach 1960, wobei die Untersuchungen der Bundesbehörde auf den von Kalifornien geschaffenen Grundlagen aufbauten. Vom Bund wurde schließlich auch das 1966er Kalifornientest-Verfahren mit seinen Emissionsstandards ab Modelljahr 1968 in die 49-Staaten-Gesetzgebung übernommen, ohne daß zunächst eine eigene Emissions-Ausgangsbasis ("baseline") erarbeitet worden war.

In den folgenden Jahren lag die Regie der Fortschreibung der Emissionskontrollgesetzgebung der USA und ihrer Ausführungsbestimmungen sowie der Verbesserung der Meßtechnik und des Fahrzyklus eindeutig bei der Bundesbehörde. Die Weiterentwicklung



der Emissionsmeßtechnik und des Fahrzyklus können positiv bewertet werden, wogegen die ab 1970 verfolgte Behandlung der Automobilindustrie besonders mit dem Konzept des massiven "technology forcing" und der immer umfangreicher werdenden Ausführungsbestimmungen zu den erlassenen Gesetzen zu negativen technischen und wirtschaftlichen Konsequenzen führte.

Die in teilweise unzumutbar kurzen Entwicklungszeiten gesetzlich erzwungenen neuen Technologien mußten unausgereift in die Serienproduktion gebracht werden. Um den wirklichen Erfolg von Emissionskontrollmaßnahmen im Feld kümmerte sich der Gesetzgeber offiziell nicht. Hier kam es dann auch unausweichlich zu den unter dem Begriff "tampering", d. h. willentlichem Außerbetriebsetzen, bekannten Erscheinungen, die nicht nur den Erfolg der eingesetzten Emissionskontrollmaßnahmen bezüglich einer Luftqualitätsverbesserung zunichte machten, sondern auch die vom Gesetzgeber, der Industrie und dem Verbraucher in Milliardenhöhe geleisteten finanziellen Aufwendungen vergeudeteten.

Die Industrie andererseits hatte Mühe, ihre Produkte überhaupt verkaufsfähig zu halten, was unter der sich besonders in den 70er Jahren hektisch entwickelnden Gesetzgebung - der im Falle der Prototypenzertifikation fundamentale Annahmefehler zugrunde lagen - nicht in jedem Fall gelang. Die Wirksamkeit der bei der Zertifikation eingesetzten Technologien über die gesamte Fahrzeuglebensdauer, ein einwandfreies Fahrverhalten und ein wenigstens konstant gehaltener Kraftstoffverbrauch konnten seitens der Automobilindustrie aus Zeitgründen nicht realisiert werden. Eine nachträgliche Einführung von Maßnahmen, die diese Zustände hätten mildern können, war ebenfalls aus Zeitgründen und auch seitens der Gesetzgebung selbst nicht ohne weiteres möglich. Die bestehenden Emissionskontrollgesetze blockierten im Grunde sogar derartige Aktivitäten, denn die eventuell als notwendig erkannten technischen Änderungen wären zum großen Teil mit Sicherheit auf dem Weg zu ihrer Realisierung an den komplizierten gesetzlichen Vorschriften gescheitert. Das Einleiten technischer Änderungen zur Abstellung von bestimmten Fehlern am Emissionskontrollsystem der Fahrzeuge oder zur Verbesserung bestimmter - durch diese Emissionskontrollsysteme verursachten - negativer Eigenschaften dieser Fahrzeuge barg aufgrund der Gesetzeslage sogar die Gefahr eines Zertifikatsrückrufs, Produktionsstopps der laufenden Fertigung oder umfangreicher Rückrufaktionen.

Durch die Ende 1973 ins öffentliche Bewußtsein gerückte Tatsache begrenzter Energiereserven, die deutlich gewordene Erkenntnis über die weitgehende Abhängigkeit des nationalen Wirtschaftswachstums von internationalen Vorgängen, sowie die steigende Belastung der einheimischen Automobilindustrie durch ein immer ungünstiger werdendes Import/Export-Verhältnis trugen wesentlich dazu bei, daß in den USA gegen Ende der 70er Jahre Tendenzen zu einer vernünftigeren Zusammenarbeit zwischen Gesetzgeber und Industrie einsetzten.

Kosten/Nutzen-Betrachtungen rückten bei der Festlegung von Emissionskontrollvor-

schriften und der Entwicklung der zu ihrer Erfüllung notwendigen technischen Systeme ebenso in den Vordergrund wie die Forderung nach möglichst geringem Kraftstoffverbrauch von neu produzierten Fahrzeugen. Die US-Behörde zog sich weitgehend aus dem Verantwortungs- und Entscheidungsfindungsprozeß im Rahmen der Emissions-Prototypenzulassung zurück und verlagerte ihre Aktivitäten auf Gebiete, die den wirklichen Umweltschutzforderungen eher Rechnung trugen, wie z. B. der Prüfung von Fahrzeugen im Verkehr und der Erforschung der Gesundheitsschädlichkeit oder -unschädlichkeit bestimmter Emissionen.

Die Automobilindustrie erhielt de facto von 1975 bis 1985 Entlastung von nahezu allen übereilt oder politisch motiviert verabschiedeten Emissionskontrollgesetzen, wobei diese Entlastungen der Behörde bis 1980 seitens der Industrie mit oft großem Aufwand abgerungen werden mußten, sie ab 1980 jedoch aufgrund der inzwischen katastrophalen wirtschaftlichen Situation der US-Automobilindustrie vom Präsidenten selbst offeriert wurden.

Die noch 1979 massiv gegen den Diesel-Motor vorgebrachten behördlichen Bedenken und geplanten gesetzlichen Forderungen zum Nachweis der Gesundheitsunschädlichkeit seiner Emissionen als Vorbedingung zur Erteilung einer Verkaufszulassung wurden offiziell durch das Einleiten langjähriger wissenschaftlicher Untersuchungsprogramme aufgeschoben. Aufgrund des "Clean Air Act" der USA mit seinem weitgehenden Interpretationsspielraum wäre es jedoch durchaus möglich gewesen, die "dieselization" des US-Marktes - zumindest zeitweise - zu verhindern, wenn nicht volkswirtschaftliche Überlegungen den Einsatz dieser derzeit kraftstoffverbrauchsgünstigsten Antriebsquelle für Pkw gefordert hätten.

Nahezu parallel und im Werdegang analog zu den Ereignissen in den USA verlief die Entwicklung der Emissionskontrollgesetzgebung in *Japan*, die in den Jahren 1963 bis 1965 mit der Untersuchung von Fahrmustern in Tokyo begann. Im Jahre 1966 erfolgte dann die erstmalige Anwendung von CO-Grenzwerten für Pkw mit Otto-Motoren in einem eigenen 4-mode-Test. Der dem US-"Clean Air Act" nachempfundene japanische "Air Pollution Control Act" von 1968 forderte schließlich die Festlegung von Emissionsgrenzwerten für HC, CO, Blei und andere Stoffe, die für Lebewesen und die menschliche Gesundheit schädlich sind, und nachdem man um 1970 die Luftverunreinigung durch den Kraftfahrzeugverkehr als ein akutes Problem erkannte (erstes Auftreten von Smog-Situationen), wurde im Jahre 1970 der "Basic Plan for Automotive Exhaust Gas Control Measures" festgelegt. Es folgten weitere Ergänzungen dieser Gesetzgebung mit der Festlegung von Langzeitzielen zur Begrenzung von Emissionen aus Automobilen (1972), und schließlich wurde im Jahre 1974 die Übernahme der in den "Clean Air Amendments" der USA von 1970 festgelegten "Muskie-Standards" für die Jahre 1975 (HC/CO) und 1976 (NO<sub>x</sub>) beschlossen.

Auch in Japan vollzog sich dann der gleiche Aufschub-Prozeß, wie er aus den US-"Suspension Hearings" der Jahre 1972 bis 1981 bekannt ist: Wegen Nicht-Verfügbarkeit

der Technologie zum Erreichen der geplanten Grenzwerte wurde z. B. der japanische 1976er NO<sub>x</sub>-Standard Ende 1975 für einheimische Hersteller auf 1978 und für Importeure auf 1981 aufgeschoben.

Japan nimmt bezüglich der Entwicklung von Fahrzyklen für Emissionstests eine Sonderstellung ein, da es sich in diesem Punkt zwar an den ursprünglichen kalifornischen, nicht jedoch an den späteren US-Bundesentwicklungen orientiert hat. Es führte mit dem Übergang von der Konzentrationsmessung des 4-mode-Tests auf Massenemissionsmessung im Jahre 1973 den 10-mode-Test mit Motor-Heißstart und ab 1975 den 11-mode-Test mit Motor-Kaltstart für Pkw mit Otto-Motoren ein.

Diesel-Pkw unterliegen bis heute einer separaten Gesetzgebung, wobei ab 1972 ein "3-mode"-Test und ab 1975 zusätzlich ein Test mit freier Beschleunigung und Grenzwerten für die Filterschwärzung in diesen Vollast-Rauchtests gültig wurden. Ab 1972 wurden die gasförmigen Emissionen aus dem Auspuff in einem 6-mode-Konstantfahrt-Test begrenzt. Im Zuge einer steigenden Verdieselung des japanischen Marktes begannen 1979 Überlegungen, den Pkw-Diesel-Motor in die für Pkw-Otto-Motoren gültige Gesetzgebung (10-mode-Fahrzyklus) einzubeziehen. In Hearings im Januar 1980 und im Januar 1981 wurde die Problematik der Festlegung separater Emissionsgrenzwerte behandelt, da der in Japan z. B. im NO<sub>x</sub> ab 1981 für Pkw mit Otto-Motoren gültige Standard von 0.25 g/km vom Diesel-Motor nicht erfüllt werden kann.

Außer im Bereich der Fahrzyklen weist die japanische Emissionskontrollgesetzgebung noch weitere Besonderheiten, wie z. B. ein eigenes Dauerlaufprogramm für Zulassungsfahrzeuge und Hitze- sowie Fußgängerschutz-Tests, auf. Letztere wurden im Zusammenhang mit der Einführung der Katalysatortechnologie (Unterbodenkatalysatoren) Gesetz, um sowohl Brandgefahren für das Fahrzeug und seine Umgebung wie auch Verletzungsgefahren für dicht hinter der Auspuffmündung vorbeigehende Fußgänger zu vermeiden.

Obwohl in den Jahren des 4-mode-Tests seitens der Automobilindustrie "Europa-Versionen" ihrer Pkw mit Otto-Motoren mit gewissen kleineren Modifikationen nach Japan geliefert werden konnten, und heute im wesentlichen US-Katalysatorfahrzeuge (mit Ergänzungen zur Erfüllung der zusätzlichen japanischen Hitzeschutzforderungen, d. h. Hitzeschutzbleche unterhalb der Auspuffanlage oder des Katalysators) nach Japan exportiert werden, bestanden viele Jahre große Schwierigkeiten bei der emissionsbezogenen Zulassung für diesen Exportmarkt. Besonders seit dem Einsatz immer schärferer Emissionskontrollgesetze geriet Japan unter heftige Kritik der in dieses Land exportierenden automobilproduzierenden Nationen. Unklarheiten der japanischen Zulassungspraktiken, der relevanten organisatorischen Zusammenhänge innerhalb der involvierten Behörden und vor allem die Nichtverfügbarkeit entsprechender Informationen zumindest in englischer Sprache boten ein echtes Handelshemmnis.

Mitte der 70er Jahre sahen sich daher sowohl die japanische Umweltschutzbehörde, das Verkehrsministerium als zulassende Behörde und der japanische Herstellerverband veranlaßt, den Importeuren englischsprachige Informationen über die wichtigsten Zusam-

menhänge an die Hand zu geben, zu Demonstrations- und Erläuterungs-Meetings über neue Gesetze nach Japan einzuladen (z. B. bei der Einführung der Hitzeschutz-Forderungen mit Einsatz der Katalysatortechnologie im Mai 1975) und schließlich im Jahre 1979 erstmals eine umfassende Detailbeschreibung der japanischen Zulassungsverfahren in englischer Sprache zu veröffentlichen.

Die Kommunikationsverbesserungen in Zulassungsfragen, die Anerkennung von Emissions-tests in nationalen Labors der nach Japan exportierenden Länder sowie Erleichterungen, die Japan den Importeuren schließlich bei der Erfüllung der "Muskie-Standards" und bei der Anerkennung verlängerter Katalysatorwechselintervalle einräumte, sind zum wesentlichen Teil in der japanischen Absicht begründet, für die eigene Automobilindustrie keine unnötigen Restriktionen in den für Japan wichtigen Exportbereichen Europa und USA zu verursachen, und wurden auch erst nach entsprechenden Interventionen (z. B. durch Eingaben der EG-Kommission/Brüssel in Tokyo 1975/76) gewährt.

Im dritten der hier behandelten Länder, in *Schweden*, existierten verfassungsrechtlich abgesicherte Vorschriften bezüglich der Beschaffenheit und Ausrüstung von Fahrzeugen zum Zwecke der Emissionskontrolle an Fahrzeugmotoren erst seit 1969. Diese und alle in den anschließenden Jahren erlassenen schwedischen Emissionskontrollgesetze basieren weitgehend auf Untersuchungen und Vorschlägen, die unter der Leitung einer Führungsgruppe des Verkehrsministeriums erarbeitet wurden. Diese Führungsgruppe bestand aus Sachverständigen, die das Staatliche Amt für Verkehrssicherheit, das Arbeitsmedizinische Institut, den Schwedischen Kraftfahrzeug- und Kraftfahrzeug-Großhändlerverband, die Staatliche Naturschutzbehörde, das Verkehrsministerium und die "AB Atomenergi" in Studsvik repräsentierten.

Ende 1965 genehmigte der schwedische König dem Verkehrsminister, der letztgenannten Stelle den Auftrag zu einer Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Fahrzeugabgase zu erteilen, um wirksame Maßnahmen zur Senkung der schädlichen Verunreinigungen in den Fahrzeugabgasen einzuleiten und technische Unterlagen zur Erarbeitung der hierfür erforderlichen Gesetzgebung zu erhalten.

Die Führungsgruppe veröffentlichte während ihrer 5jährigen Tätigkeit kontinuierlich Berichte über durchgeführte Untersuchungen und Arbeiten, die zu Hauptthemen der geplanten schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung Vorschläge enthielten, wobei diese Vorschläge auf Erkenntnissen aus eigenen Arbeiten (z. B. in Studsvik) sowie aus Sichtung und Bewertung bereits vorhandener Ergebnisse bei der Begrenzung der Schadstoffemissionen im Automobilabgas in anderen Ländern beruhten. Hierbei waren die Vorgänge in den USA zwar richtungweisend, jedoch wurden auch die Diskussionen innerhalb der ECE berücksichtigt, an denen Schweden teilnahm.

Die Arbeiten und Vorschläge der Führungsgruppe führten zunächst zu der ab 1969 gültigen Vorschrift für geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftungssysteme für Pkw mit Otto-Motoren. Eine weitere Studie speziell über Diesel-Abgase führte ab 1970 zur Begren-

zung der Rauchdichte an alten und neuen Fahrzeugen sowie zur Vorschrift über das Plombieren der Einspritzpumpe seitens des Automobilherstellers. In einer 1968er Ausarbeitung wurde die Anwendung des ECE-Abgaszulassungsverfahrens empfohlen, und dieser Vorschlag wurde ab Juli 1970 mit Einheitsgrenzwerten für alle neuen Fahrzeuge im HC und CO Gesetz. Gleichzeitig wurde der Leerlauf-CO-Gehalt aller im Verkehr befindlichen Fahrzeuge begrenzt. Da Schweden zu jener Zeit bereits ein eingespieltes routinemäßiges Überwachungsprogramm (Sicherheits- und Funktionsinspektionen) besaß, konnte der 1970er Vorschlag der Führungsgruppe relativ leicht durch Einbeziehung der Leerlauf-CO-Kontrolle in diese Routineinspektionen realisiert werden. Die 1971 von der Führungsgruppe vorgeschlagene Fortschreibung der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung wurde nur in stark gemilderter Form Gesetz, und zwar nur bezüglich einer ersten Verschärfungsstufe der HC- und CO-Zulassungsstandards bei gleichzeitiger Einführung von  $\text{NO}_x$ -Grenzwerten und Übergang vom ECE R15-Verfahren auf die US FTP-72. Die damit ab 1976 bis heute in Schweden gültigen Emissionsstandards entsprechen denen des US-Modelljahres 1973.

Seit Schweden im Jahr 1974 die Anwendung der ECE-Emissionskontrollgesetzgebung aufkündigte und die entsprechende US-Gesetzgebung übernahm, mußte es aus Sicht der Automobilindustrie in die Reihe der "Abgasländer" (zu denen bis dahin nur die USA, Japan und Australien gerechnet wurden) eingeordnet werden. Diese Länder sind gekennzeichnet durch Emissionskontrollvorschriften, die sich einerseits grundlegend von der entsprechenden ECE-Gesetzgebung unterscheiden, die zusätzlich aber auch untereinander uneinheitlich bezüglich Verfahren, Fahrzyklen und Grenzwerten sind.

Für die Automobilhersteller bedeutet diese Uneinheitlichkeit den Zwang, die in diese Länder exportierten Fahrzeuge mit ebenso abweichenden Emissionskontrolltechnologien auszustatten sowie die in technischem, organisatorischem und zeitlichem Aufwand zum Teil erheblich unterschiedlichen Zertifizierungsverfahren abwickeln zu müssen. Diese Problematik ist für Schweden daher relevant, weil die Übernahme der US-Emissionskontrollgesetzgebung nur verbal den Anschein einer Vereinheitlichung von Vorschriftenanwendung und technischem Aufwand hat. De facto gibt es jedoch sowohl eine eigene "Schweden-Version" der Fahrzeugmodelle, wie auch eine separate Schweden-Abgaszertifizierung, da die von Schweden ab 1976 angewandten US-Vorschriften des Modelljahres 1973 sowohl bezüglich des Meßverfahrens wie auch der Grenzwerte in den USA längst fortgeschrieben wurden und seit 1975 grundlegend unterschiedliche Technologien (Katalysatoren) erforderlich machten.

Da Schweden dieser Weiterentwicklung auch aus wirtschaftspolitischen Gründen nicht folgen konnte, hat es sich in die heute vorliegende Position begeben, in der weder "Europa-Fahrzeuge" noch "US-Versionen" (oder auch "Japan-Ausführungen") seiner Emissionskontrollgesetzgebung und seinen Marktgegebenheiten genügen können.

In Programmen zur Überwachung der Emissionen von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen (Modelljahr 1971 bis 75 gemäß ECE-Verfahren, ab Modelljahr 1976 gemäß US FTP-72)

mußten die schwedischen Behörden jedoch erkennen, daß trotz ihres Alleingangs innerhalb der Emissionskontrollgesetzgebungen der übrigen europäischen Länder und "schärferen" Emissionsgrenzwerten kein überzeugender Erfolg im Feld, d. h. für die Luftqualität erreicht worden war. Die Nachprüfsergebnisse waren so schlecht, daß Verkehrsministerium und Landwirtschaftsministerium (= Umweltschutzbehörde) im Jahre 1977 eine generelle Überarbeitung der bestehenden schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung ankündigten. Durch Einsetzen verschiedener Komitees sollten möglichst alle bei der Definition einer neuen Strategie zu beachtenden Faktoren untersucht werden. Das Ergebnis der Untersuchungen soll den Gesamtkomplex der Luftqualitätserfassung und -bewertung sowie deren Verbesserung durch Maßnahmen am Kraftfahrzeug und Kraftfahrzeugverkehr transparent machen, um in Zukunft einen sinnvollen Kompromiß zwischen technischen, wirtschaftlichen und politischen Möglichkeiten sowie umweltschutzbezogenen Notwendigkeiten erarbeiten zu können.

Die in Schweden zu treffenden Entscheidungen gestalten sich sehr schwierig, da dem eindeutigen Wunsch, mehr zu tun als in der ECE/EG-Gesetzgebung vorgesehen ist, die Einsicht in die Problematik eines nationalen Alleingangs gegenübersteht. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine eventuell für notwendig erachtete so drastische Absenkung der Emissionsgrenzwerte, daß Katalysatoren und damit (nach heutigem technologischen Stand) der Einsatz bleifreien Kraftstoffes erforderlich werden. Hieraus ergeben sich für Schweden wirtschaftliche Konsequenzen, die nicht außer acht gelassen werden können.

Das Versagen der bisherigen schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung, das sich durch die nicht die Zulassungsgrenzwerte erfüllenden Fahrzeuge im Feld und damit durch die nicht erreichten Ziele zur Luftqualitätsverbesserung dokumentiert, wird von E. O. Stork (unter dessen verantwortlicher Leitung in den Jahren von 1970 bis 1978 das gesamte komplexe Gebilde der US-Emissionskontrollgesetzgebung entstand) hauptsächlich auf elementare Mängel der von Schweden praktizierten Emissions-Zulassungspraxis zurückgeführt. Stork kritisiert damit grundsätzlich alle behördlichen Bemühungen, Luftqualitätsverbesserungen über gesetzliche Auflagen, die die Automobilindustrie vor Erhalt der Verkaufszulassung oder dem Verkauf ihrer Fahrzeuge erfüllen muß, erreichen zu wollen. Darüber hinaus hält er das schwedische Leerlauf CO-Kontrollprogramm aufgrund der dabei zulässigen großen Toleranzen und nicht zwingenden Nachstellvorschriften für wenig effektiv. Sein genereller Rat an die schwedischen Behörden ist, auf alle Fälle die Resultate der Untersuchungen der 1977 beauftragten Komitees abzuwarten (Ende 1981), bevor über weitere Verschärfungen der Emissionskontrollgesetzgebung entschieden wird.

Darüber hinaus sollte in der Zwischenzeit die Diskussion über dieses Thema auf breiterer Basis geführt werden, damit die Öffentlichkeit an der geforderten politischen Entscheidung teilnehmen kann, und bis zum obengenannten Zeitpunkt klar wird, wel-

che finanziellen Belastungen zur Sicherstellung ihres eigenen Schutzes die schwedische Bevölkerung bereit ist zu tragen.

Die letztgenannten Gedanken im Zusammenhang mit einer Neudefinition der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung leiten über zur generellen Fragestellung nach der für die Zukunft ökologisch zu fordernden, technisch/wissenschaftlich realisierbaren und ökonomisch vertretbaren Gesetzgebungsstrategie. Hierbei sind historisch erlernte oder durch neue Denkansätze gewonnene Erkenntnisse zu berücksichtigen.

Durch einen historischen Lernprozeß ergaben sich z. B. die Erkenntnisse, daß eine unbedachte Politik des "technology forcing" die Gefahr technischer Fehlentwicklungen und volkswirtschaftlicher Schäden in sich birgt, daß eine Behörde weder durch umfangreiche Detaillierung der technisch/administrativen Nachweisforderungen bezüglich Erfüllung der erlassenen Gesetze noch durch massive aber unpraktikable Sanktionsandrohungen für den Fall der Nicht-Erfüllung dieser Vorschriften das Einhalten bestehender Gesetze erzwingen kann, und daß die Kontrolle der Schadstoffemissionen aus Kraftfahrzeugen nur sekundär ein technisches, primär jedoch ein volkswirtschaftliches Problem darstellt.

Hierbei wird von der als Kardinalirrtum erkannten Auffassung der traditionellen Nationalökonomie, daß Licht, Luft, Urwald und Wasser freie, d. h. unerschöpfliche Güter ohne Kosten darstellen {3, 4}, Abstand genommen und z. B. die Luft im Rahmen der neuen Umwelt-Ökonomie als knappes Gut eingestuft, dessen Konsum Kosten z. B. in Form von Verzicht auf Lebensqualität verursacht {5}.

Im Fall des Kraftfahrzeugverkehrs wird das knappe Gut "saubere Luft" konsumiert, wobei jedoch die hierbei anfallenden Belastungen als "externe Kosten" nicht in die Kostenrechnung des Verursachers eingehen, sondern von der Allgemeinheit oder Dritten zu tragen sind. Ziel einer Umweltschutzpolitik und damit auch der Emissionskontrollgesetzgebung für Automobile ist es also, diese externen Kosten zu internalisieren, d. h. dem Verursacher anzulasten. Hierbei ergeben sich aus dem Grundproblem einer monetären Bewertung der durch Automobilabgase verursachten Umweltbelastungen inhärente Schwierigkeiten für eine entsprechende Gesetzgebung. Selbst wenn bei Vorhandensein entsprechender Kosten- und Schadensfunktionen der kostenoptimale Reinheitsgrad der Luft hergeleitet werden könnte, sind die durch die Stellung der Automobilindustrie in der Gesamtwirtschaft und die Auswirkungen umweltpolitischer Maßnahmen in wirtschaftspolitische Aktionsfeldern (Preisstabilität, Vollbeschäftigung, angemessenes und stetiges Wachstum, außenwirtschaftliches Gleichgewicht sowie personelle Einkommensverteilung, internationaler und regionaler Wettbewerb, Staatshaushalt) gegebenen Zielkonflikte zu beachten. Hieraus folgt, daß die Emissionskontrollgesetzgebung für Automobile den Einsatz wohlabgewogener wirtschaftspolitischer Instrumente fordert, wobei hauptsächlich verkehrs- und umweltökonomische Instrumente in Frage kommen.

Zu den letzteren gehören außer Maßnahmen einer informellen oder direkten Verhaltens-

steuerung (Ratschläge/Ge- und Verbote) und ausgabenpolitischen Lösungen (staatliche Forschungs- und Technologiepolitik) besonders die im Zusammenhang mit den Stork-Vorschlägen am Abschluß der Arbeit diskutierten gebührenpolitischen Instrumente. Wie das Studium der relevanten volkswirtschaftlichen Literatur zeigt, sind die Stork-Gedanken keineswegs neu. Sie gehen zurück auf den sozialkostenorientierten Ansatz von Pigou {6}, beinhalten Grundzüge eines vermeidungskostenorientierten Vorgehens {7} oder sollen nach dem Ansatz von Baumol und Oates lenkungsfunktional wirken {8}. Eine Variante der Stork'schen "emission fee"-Strategie {9} entspricht mit dem Vorschlag einer "Vermarktung von Verschmutzungsrechten" den Gedanken von Dales {10}.

Es bleibt abzuwarten, welche Veränderungen bestehender Vorschriften und welche neuen Ansätze künftigen Emissionskontrollgesetzgebungswerken einen effektiveren Umweltschutz als in den zurückliegenden zwei Dekaden ermöglichen. Die in dieser Arbeit aufgezeigten Zusammenhänge erlauben - besonders bei Berücksichtigung der jüngsten nationalen und internationalen wirtschaftlichen Entwicklungen - nur einen gedämpften Optimismus.



## Inhaltsangabe

<u>Teil I:</u>	<u>Einleitung - Zielsetzung - Übergeordnete Zusammenhänge</u>	1
1.	Einleitung und Zielsetzung	1
2.	Übergeordnete Zusammenhänge	2
2.1	Geschichtliche Entwicklung der Anforderungen an den Pkw und seinen Motor	2
2.2	Betrachtungen zur Luftqualität	7
2.2.1	Die globale Emissionsbelastung der Atmosphäre	7
2.2.2	Die lokale Emissionsbelastung der Atmosphäre	9
2.2.3	Bewertung der Emissionsbelastung	11
2.3	Emissionen eines Pkw mit Otto-Motor	14
2.3.1	Emissionen aus dem Kurbelgehäuse	15
2.3.2	Verdunstungs-Emissionen	18
2.3.3	"Background"-Emissionen	18
2.3.4	Emissionen aus dem Vergaser	18
2.3.5	Emissionen aus dem Kraftstofftank	20
2.3.6	Emissionen aus dem Verbrennungsvorgang	22
2.4	Emissionen eines Pkw mit Diesel-Motor	26
2.4.1	Die dieselmotorische Verbrennung	27
2.4.2	Gasförmige Emissionen	29
2.4.3	Partikel-Emissionen	32
2.4.3.1	Physik der Rußbildung	34
2.4.3.2	Chemie der Rußbildung	35
2.4.3.3	Eigenschaften des Rußes	37
2.5	Vergleich der Emissionsanteile im Abgas von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren	38
2.6	Die Automobil-Situation in ausgewählten Exportländern	39
2.6.1	Die Automobil-Situation in den USA	40
2.6.1.1	Die Importsituation der USA	41
2.6.1.2	Die Exportsituation der USA	41
2.6.1.3	Emissionskontrollgesetzgebung und Automobil-Situation in den USA	42
2.6.2	Die Automobil-Situation in Japan	43
2.6.2.1	Die Importsituation in Japan	44
2.6.2.2	Die Exportsituation in Japan	44
2.6.2.3	Emissionskontrollgesetzgebung und Automobil-Situation in Japan	47

	Seite
2.6.3	Die Automobil-Situation in Schweden 48
2.6.3.1	Die Importsituation in Schweden 49
2.6.3.2	Die Exportsituation in Schweden 49
2.6.3.3	Emissionskontrollgesetzgebung und Automobil-Situation in Schweden 50
2.7	Zollbelastungen im internationalen Pkw-Handel 51
<u>Teil II:</u>	<u>Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Redu-</u> 53
	<u>zierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemis-</u>
	<u>sionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Kali-</u>
	<u>fornischen- und 49-Staaten-Emissionskontrollgesetzgebung der</u>
	<u>USA für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren</u>
1.	Die Umweltsituation in den USA 53
1.1	Kalifornien 53
1.1.1	Das Erreichen der Tolerierbarkeitsgrenze 53
1.1.2	Bemühungen zur Verbesserung der Luftqualität 54
1.1.3	Die Spur führt zum Automobil 55
1.1.4	Anteil der Kraftfahrzeuge an der Umweltbelastung in Kalifornien 55
1.1.5	Voraussetzung für Emissionsgrenzwerte: "Air Quality (AQ) Standards" 56
1.1.6	Mechanismen der Smog-Bildung 60
1.2	Die übrigen 49 Staaten 61
1.2.1	Die "Air Quality Standards" der EPA 61
1.2.2	Die Luftqualität in US-Städten vor Beginn der Emissionskon- 62
	trolle an Kraftfahrzeugen
1.2.3	Der Anteil des Automobilverkehrs an der Ausgangs-Luftqualitäts- 63
	Situation der USA
1.2.4	Die Auswirkungen der ersten Maßnahmen zur Begrenzung der Emis- 64
	sionen aus Kraftfahrzeugen
1.2.5	Die Überwachung der landesweiten Luftqualität: das AEROS-System 65
1.2.5.1	Die NEDS-Datensammlung über Punkt-Quellen 65
1.2.5.2	Die NEDS-Datensammlung über Flächen-Quellen 66
1.2.5.3	Die NEDS-Datensammlung über Emissionsfaktoren 66
1.2.6	Die Luftqualitätssituation 5 Jahre nach dem Beginn bundesweiter 67
	Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen
2.	Der Gesetzgebungsprozeß in den USA 70
2.1	Vom Vorschlag bis zur Unterschrift durch den Präsidenten 70
2.2	Von der Unterschrift des Präsidenten bis zur Veröffentlichung 73
	im "Federal Register"
2.3	Interpretationen des "Federal Register" durch die "Advisory 73
	Circulars" der EPA
3.	Historische Entwicklung und Ziele der Emissionskontrollgesetz- 74
	gebung für Pkw in den USA
3.1	Kalifornische Behörden und -Gesetzgebung 74

	Seite
3.1.1	Der "California Health and Safety Code" und das "California Department of Public Health" 74
3.1.2	Ursprung der kalifornischen Luftqualitäts-Gesetzgebung: Der "Stewart-Act" von 1947 75
3.1.3	Das "California Motor Vehicle Pollution Control Board" (CMVPCB) 76
3.1.4	Der "Mullford-Carell Air Resources Act" von 1967 und die Gründung des "California Air Resources Board" (CARB) 76
3.1.5	Der "Pure Air Act" von 1968 76
3.2	Bundesbehörden und Bundesgesetzgebung 77
3.2.1	Ursprung der Luftqualitätsgesetzgebung des Bundes: Der Donora-Zwischenfall von 1948 77
3.2.2	Der "Public Health Service Act" und der "Air Pollution Control Act" von 1955 77
3.2.3	Der "Schenck-Act" von 1960 ("Motor Vehicle Exhaust Act") 78
3.2.4	Der "Clean Air Act" von 1963 79
3.2.5	Der "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" von 1965 80
3.2.6	Die "Clean Air Act Amendments" von 1966 81
3.2.7	Der "Air Quality Act" von 1967 und die Gründung des "National Center of Air Pollution Control" 81
3.2.8	Der "National Environmental Policy Act" (NEPA) von 1969 83
3.2.9	Der "Environmental Quality Improvement Act" von 1970 83
3.2.10	Die "Clean Air Amendments" von 1970 83
3.2.10.1	Aufschub von Standards (Sec. 202) 86
3.2.10.2	Verbotene Aktionen ("Tampering") für Händler und Einzelpersonen (Sec. 203) 87
3.2.10.3	Strafen bei Verstoß gegen verbotene Aktionen (Sec. 205) 88
3.2.10.4	Nachkontrolle von Fahrzeugen im Verkehr und Garantie (Sec. 207) 88
3.2.10.5	Zertifikations- und Zulassungsrechte von Einzelstaaten (Sec. 209) 89
3.2.11	Der "Energy Supply and Environmental Coordination Act" (ESECA) von 1974 89
3.2.12	Die "Clean Air Act Amendments" von 1977 (der heutige "Clean Air Act") 89
3.2.12.1	Änderungen gegenüber dem bisherigen Gesetzesstand 89
3.2.12.2	Voraussetzungen für die Gewährung einer Ausnahmegenehmigung ("waiver") 92
3.2.13	Zusammenfassung der Geschichte des "Clean Air Act - as amended" 92
4.	Philosophie der US-Emissionskontrollgesetzgebung 93
4.1	Der "Best Practical Means Approach" 94
4.2	Der "Air Resources Management Approach" 94
4.3	Entwicklung der Philosophie der US-Emissionskontrollgesetzgebung 95
4.3.1	Behördliche Entwicklung von Technologien in den Jahren 1955 bis 1963 96

	Seite
4.3.2	Forderung zum Einsatz der behördlicherseits entwickelten Technologien in den Jahren 1965 bis 1969 97
4.3.3	Die Wende im Jahre 1970: Behördlicher Zwang für den Verursacher, Emissionskontrolltechnologien selbst zu entwickeln und einzusetzen 101
4.3.4	Grenzen und Lehren des "technology-forcing" 103
4.3.5	Die neue Philosophie ab 1977: Forderung zur Beweisführung der Gesundheitsunschädlichkeit der eingesetzten Technologien sowie zur Übernahme fachlicher und moralischer Verantwortung durch den Verursacher 105
5.	Der "Consent Decree" 108
5.1	Hintergrund 108
5.2	Die Anklage 109
5.3	Die Einigung 110
5.4	Ansichten zum "Consent Decree" 111
5.5	Folgen des "Consent Decree" 112
5.6	Auswirkungen der 1969er Klage des "Department of Justice" gegen die AMA 112
5.7	Zehn Jahre später: Das Ende des "Consent Decree"? 113
6.	Entwicklungsgeschichte von Grenzwerten, Testverfahren und Fahrzyklen der US-Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw 114
6.1	Entwicklungsgeschichte der Emissionsgrenzwerte unter kalifornischer Gesetzgebung 114
6.1.1	Herleitung der ersten Abgas-Emissionsgrenzwerte der Welt für Pkw 115
6.1.1.1	Der CO-Grenzwert 115
6.1.1.2	Der HC-Grenzwert 116
6.1.1.3	Die "Rollback"-Methode 116
6.1.2	Chronologische Weiterentwicklung der Emissionsgrenzwerte unter kalifornischer Gesetzgebung 117
6.1.2.1	Grenzwerte für Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase 117
6.1.2.2	Grenzwerte für Verdunstungs-Emissionen 117
6.1.2.3	Grenzwerte für Abgas-Emissionen 118
6.2	Entwicklung der Emissionsgrenzwerte unter Bundes-Gesetzgebung 119
6.2.1	Herleitung der zum Erreichen eines gesundheitsunschädlichen Luftverunreinigungs-Niveaus erforderlichen Reduktionsstufen für Abgas-Standards (Grundlage der "Clean Air Amendments" von 1970) 121
6.2.2	Die "modifizierte Rollback"-Methode 121
6.2.3	Chronologische Weiterentwicklung der Emissionsgrenzwerte unter Bundes-Gesetzgebung 123
6.2.3.1	Grenzwerte für Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase 123
6.2.3.2	Grenzwerte für Verdunstungs-Emissionen 124
6.2.3.3	Grenzwerte für Abgas-Emissionen (unter Zertifikationstest-Bedingungen) 124

	Seite
6.2.3.4	Grenzwerte für Abgas-Emissionen (außerhalb der Zertifikations- test-Bedingungen) 127
6.3	Entwicklung der Emissions-Testverfahren unter kalifornischer Gesetzgebung: Die Konzentrationsmessung ab Modelljahr 1966 128
6.4	Entwicklung der Emissions-Testverfahren unter Bundes-Gesetz- gebung 130
6.4.1	Die Konzentrationsmessung mit Staffelung der Grenzwerte nach dem Hubraum ab Modelljahr 1968 130
6.4.2	Die Konzentrationsmessung mit Umrechnung auf Massenbasis ab Modelljahr 1970 130
6.4.3	Die direkte Massenemissionsmessung 132
6.4.3.1	Die CVS-C-Methode ab Modelljahr 1972 132
6.4.3.2	Die CVS-C-Methode mit NO <sub>x</sub> -Messung für die Modelljahre 1973 und 1974 133
6.4.3.3	Die CVS-CH-Methode ab Modelljahr 1975 für Pkw mit Otto-Motoren 134
6.4.3.4	Die CVS-CH-Methode für Pkw mit Diesel-Motoren (49 Staaten ab Modelljahr 1975, Kalifornien ab Modelljahr 1980) 136
6.4.3.5	Die CVS-CH-Methode für Pkw mit Diesel-Motoren mit Partikel- Meßtechnik (49 Staaten und Kalifornien ab Modelljahr 1982) 136
6.5	Entwicklung von Fahrzyklen durch die kalifornische Behörde 137
6.5.1	Der kalifornische 11-mode-Straßentest 137
6.5.2	Der kalifornische 7-mode-Zyklus für Rollenprüfstände 139
6.5.3	Der kalifornische 11-mode-Prüfstandszyklus und der erste Zertifikationszyklus 140
6.5.4	Der kalifornische XG15-Zyklus 142
6.6	Entwicklung von Fahrzyklen durch die Bundes-Behörde 144
6.6.1	Der Bundes-Emissionstest-Fahrzyklus (UDDS = "Urban Dynamometer Driving Schedule" oder "LA4-Zyklus") 144
6.6.2	Der Bundes-Sulfat-Test (CUFDS = "Congested Urban Freeway Driving Schedule") 146
6.7	Zusammenhang verschiedener Schritte in der Entwicklung der US-Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw bis zur Annahme der CVS-CH-Methode 147
6.8	Zusammenhang zwischen Testverfahren, Fahrzyklen und Emis- sionsgrenzwerten mit Entstehungsgeschichte der "Statutory Standards" 149
7.	Gemeinsame Arbeiten von Behörden und Automobilindustrie bei der Untersuchung der Schadstoffemissionen aus Pkw und Pkw- Motoren 149
7.1	"Baseline"-Studien 153
7.1.1	Die CRC 169-Wagen HC/CO-Studie und andere Versuche 153
7.1.2	Die 1000-Wagen HC/CO/NO <sub>x</sub> -Studie: "Los Angeles Auto Exhaust Test Station Project" 154
7.1.3	Die kalifornischen 8-mode-Zyklen 155
7.2	Der CRC und das APRAC 156

	Seite
8.	Behördliche Nachprüfungsprogramme von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen ("Surveillance"- oder "In-Use Compliance Testing" und "Abgas-Garantievorschriften" der US-EPA) 158
8.1	Kurztests für Emissionsüberprüfungen von Fahrzeugen im Verkehr 158
8.1.1	Der "Idle Test" und der "Two Speed Idle Test" 159
8.1.2	Der "Federal 3-mode-Test" 159
8.1.3	Der "Clayton Key-Mode-Test" 160
8.1.4	Die "Modal Exhaust Emission Test Procedure" 161
8.1.5	Der "Federal Short Cycle-Test" 162
8.1.6	Der "New Jersey/New York Composite Cycle-Test" 162
8.1.7	Der "New York City Cycle-Test" 163
8.2	Erfassung der Emissionssituation von Fahrzeugen im Feld 164
8.2.1	Programme auf nationaler Basis: Das EPA "Emission Factors Program" 164
8.2.1.1	Das EPA-Programm des Rechnungsjahres 1975 165
8.2.1.2	Auswertung des 1975er Programms 166
8.2.2	Programme auf einzelstaatlicher Basis: Übersicht 171
8.2.2.1	New Jersey und der "New Jersey ACID-Test" 171
8.2.2.2	Das "New Jersey REPAIR-Project" und der "New Jersey Idle Test" 175
8.2.2.3	Folgen des "New Jersey REPAIR-Project" 178
8.2.2.4	Richtwerte für Nachprüfungen 179
8.2.2.5	Rauchbegrenzungen 179
8.2.2.6	Aussichten 180
8.3	Erster Versuch für ein Kurztest-Gesetz ("Cutpoint"-Verfahren) mit "Abgas-Garantieverpflichtung" 180
8.4	Gesetz über Kurztests und "Abgasgarantie" 183
<u>Teil III:</u>	<u>Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifika-</u>
<u>=====</u>	<u>tion, Produktion und Betrieb von Pkw mit Otto- und Diesel-Moto-</u>
	<u>ren unter den Vorschriften der Kalifornischen- und 49-Staaten-</u>
	<u>Emissionskontrollgesetzgebung der USA</u> 185
1.	Einleitung 185
2.	Technik und Funktion von Maßnahmen und Systemen zur Emissions- kontrolle an Pkw mit Otto-Motoren 187
2.1	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse 187
2.1.1	Die ersten in Kalifornien zertifizierten Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse 191
2.1.2	Ausführungsformen der "Blowby-Diversion" 191
2.1.3	Das "Negative Crankcase Pressure"-Verfahren 192
2.1.4	Vergleich der historischen "Road Draft Tube" mit einem "Negative Crankcase Pressure"- und einem PCV-System 192
2.1.5	Von Daimler-Benz eingesetzte Ausführungsformen 193

2.2	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Verdunstungs-Emissionen aus dem Kraftstoff-System	195
2.2.1	Maßnahmen am Vergaser	196
2.2.2	Speicherung der Verdunstungsgase aus dem Kraftstofftank im Kurbelgehäuse am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw	197
2.2.3	Speicherung der Verdunstungsgase aus dem Kraftstofftank in einem Aktivkohle-System am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw	198
2.3	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff: Eingriffe <i>vor dem</i> Brennraum	200
2.3.1	Maßnahmen an der Luftzufuhr	201
2.3.2	Maßnahmen an Vergasersystemen	203
2.3.2.1	Verbesserung von Gemischeinstellbarkeit und -konstanz im Leerlauf	204
2.3.2.2	Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl	206
2.3.2.3	Optimierung des Warmlaufs	206
2.3.2.4	Eingriffe in den Schiebebetrieb	207
2.3.2.5	Höhenkorrektur	211
2.3.2.6	Entwicklung eines Vergasers mit Emissionskontroll-Maßnahmen für Mercedes-Benz 4-Zyl.-Motoren in den USA von Modelljahr 1968 bis 1978	212
2.3.2.7	Entwicklung eines Vergasers mit Emissionskontroll-Maßnahmen für Mercedes-Benz 6-Zyl.-Motoren in den USA von Modelljahr 1968 bis 1976	214
2.3.2.8	Der Vergaser als Bestandteil zukünftiger Emissionskontroll-Systeme	216
2.3.3	Maßnahmen an Einspritzsystemen am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw für den USA-Markt	218
2.3.3.1	Die mechanische Benzineinspritzung mit Hub-zu-Hub-Förderung von Modelljahr 1968 bis 1972	219
2.3.3.2	Verbesserungen von Gemischeinstellbarkeit und -konstanz	221
2.3.3.3	Optimierung der Abgasemissionen während des Warmlaufs	222
2.3.3.4	Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl	223
2.3.3.5	Eingriffe in den Schiebebetrieb	224
2.3.3.6	Berücksichtigung von Kurbelgehäuse- und Verdunstungsgasen	225
2.3.3.7	Höhenkorrektur	225
2.3.3.8	Aufbau und Funktion der elektronischen Benzineinspritzung mit intermittierender Förderung ("D-Jetronic") an Mercedes-Benz Pkw-Motoren von Modelljahr 1971 bis 1975	225
2.3.3.9	Aufbau und Funktion der elektronischen Benzineinspritzung mit intermittierender Förderung und Luftmengenmessung ("L-Jetronic")	230
2.3.3.10	Aufbau und Funktion der mechanischen Benzineinspritzung mit kontinuierlicher Förderung und Luftmengenmessung ("K-Jetronic") an Mercedes-Benz Pkw-Motoren ab Modelljahr 1976	232
2.3.3.11	Das Hitzdraht-System zur Luftmassenmessung ("LH-Jetronic")	235

	Seite
2.3.4	Maßnahmen an Saugrohr und Einlaßkanal 236
2.3.4.1	Gleichmäßige Gemischverteilung 236
2.3.4.2	Saugrohrbeheizung und Gemischvorwärmung 238
2.3.4.3	Abgasrückführung 241
2.4	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff: Eingriffe <i>im</i> Brennraum 247
2.4.1	Brennraumform und "Quench"-Erscheinungen 248
2.4.2	Verdichtung 249
2.4.3	Maßnahmen an der Zündung 249
2.4.3.1	Spätzündungsmaßnahmen 250
2.4.3.2	Entwicklung und Einsatz von Zündsystemen 251
2.4.3.3	Die konventionelle Spulenzündung (SZ) 251
2.4.3.4	Die transistorisierte Spulenzündung (TSZ) 252
2.4.3.5	Die kontaktlose Zündanlage 253
2.4.3.6	Hochspannungs-Kondensatorzündung (HKZ) und Mehrfunken-Anlagen 253
2.4.3.7	Die vollelektronische Zündanpassung 254
2.4.4	Erhöhung von Brennraum-Wandtemperaturen 255
2.4.5	Steuerzeiten 256
2.4.6	Kolbenringe und Feuersteg 256
2.5	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff: Eingriffe <i>nach dem</i> Brennraum 256
2.5.1	Portliner 257
2.5.2	Thermische Nachverbrennung 257
2.5.2.1	Der "Ignition Cut-Off Burner" 258
2.5.2.2	Thermische Nachverbrennung durch Lufteinblasung ("Manifold Air Oxidation", "Man-Air Ox", "MAO") 258
2.5.2.3	Thermische Nachverbrennung mit Reaktoren ohne Lufteinblasung ("magere" Reaktoren) 260
2.5.2.4	Thermische Nachverbrennung mit Reaktoren und Lufteinblasung ("fette" Reaktoren) 261
2.5.3	Katalytische Nachverbrennung 265
2.5.3.1	Oxidations-Katalysatoren 266
2.5.3.2	Reduktions-Katalysatoren 268
2.5.3.3	Doppelbett-Katalysatoren 268
2.5.3.4	Selektiv- (oder Dreiweg-) Katalysatoren mit O <sub>2</sub> -Sonde 269
2.5.3.5	Spezielle Probleme der Katalysator-Technologie 271
3.	Technik und Funktion von Maßnahmen und Systemen zur Emissionskontrolle an Pkw mit Diesel-Motoren 275
3.1	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse 276
3.1.1	Grund für das Fehlen gesetzlicher Vorschriften über eine Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse von Pkw mit Diesel-Motoren 276



	Seite
3.1.2	Die Bedeutung eines Kontrollsystems für die Entlüftungsgase aus dem Kurbelgehäuse von Pkw mit Diesel-Motoren beim Einsatz von Abgasrückführung 277
3.2	Verdunstungs-Emissionen 278
3.3	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff: Eingriffe <i>vor dem</i> Brennraum 279
3.3.1	Ansauglufttemperatur 281
3.3.2	Kraftstoff-Einflüsse 281
3.3.2.1	Aromatengehalt und Cetanzahl 282
3.3.2.2	Kraftstoffdichte 283
3.3.2.3	Siedeverhalten 283
3.3.2.4	Additive 283
3.3.3	Einspritzausrüstung 284
3.3.3.1	Förderverlauf 285
3.3.3.2	Einspritzverlauf und Abspritzdruck 285
3.3.3.3	Nachspritzer 286
3.3.3.4	Spritzverstellung 287
3.3.3.5	Düsengestaltung und Einspritzstrahlverteilung 287
3.3.4	Luft-Einlaß 288
3.3.4.1	Luftverteilung 288
3.3.4.2	Drosselung 289
3.3.4.3	Abgasrückführung 289
3.3.4.4	Abgasrückführung an aufgeladenen Diesel-Motoren 291
3.4	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff: Eingriffe <i>im</i> Brennraum 292
3.4.1	Hub/Bohrung 292
3.4.2	Verdichtungsverhältnis 293
3.4.3	Brennraumgestaltung und Turbulenz (Hauptbrennraum) 293
3.4.4	Brennraumgestaltung und Turbulenz (Nebenbrennraum) 294
3.4.5	Temperaturverhältnisse im Hauptbrennraum 295
3.5	Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff: Eingriffe <i>nach dem</i> Brennraum 295
3.5.1	Maßnahmen zur Verringerung der Feststoff-Emissionen 295
3.5.1.1	Oxidation von freischwebendem Ruß 295
3.5.1.2	Ruß-Sammlung ohne Selbst-Regenerierung 296
3.5.1.3	Ruß-Sammlung mit Selbst-Regenerierung auf der Basis von Filtermatten 296
3.5.1.4	Ruß-Sammlung mit Selbst-Regenerierung auf der Basis von keramischen Monolithen 297
4.	Übersicht serienmäßig eingesetzter Emissionskontrollanlagen von Modelljahr 1968 bis 1982 am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw 298
4.1	Systeme an Mercedes-Benz Pkw mit Otto-Motoren 299

	Seite
4.1.1	Modelljahre 1968 und 1969 299
4.1.2	Modelljahre 1970 bis 1972 301
4.1.3	Modelljahr 1973 303
4.1.4	Modelljahr 1974 303
4.1.5	Modelljahre 1975 und 1976 304
4.1.6	Modelljahre 1977 und 1978 305
4.1.7	Modelljahr 1979 306
4.1.8	Modelljahr 1980 306
4.1.9	Modelljahre 1981 und 1982 307
4.2	Systeme an Mercedes-Benz Pkw mit Diesel-Motoren 308
4.2.1	Modelljahre 1975 bis 1977 308
4.2.2	Modelljahr 1978 309
4.2.3	Modelljahr 1979 309
4.2.4	Modelljahr 1980 309
4.2.5	Modelljahre 1981 und 1982 310
5.	Aufwand für Zertifizierungsverfahren 310
5.1	Historischer Rückblick 311
5.1.1	USA-Kalifornien 311
5.1.2	USA - 49 Staaten 312
5.2	Aufgaben und Verantwortung des Zertifizierungsbereiches eines Automobilherstellers 312
5.2.1	Erwirken der Verkaufszulassung 314
5.2.1.1	Auswahl des Zertifizierungsverfahrens 314
5.2.1.2	Erstellung von technischen Anmeldungs-Unterlagen: "Part I" 319
5.2.1.3	Erstellung von Überprüfungsunterlagen während des Zertifi- zierungsverfahrens: "Questionnaires" 321
5.2.1.4	Erstellung von Berichten über Störungen im Zertifizierungs- verfahren: "Engineering Reports" 322
5.2.1.5	Erstellung der technischen Abschlußmeldung einer Zertifika- tion: "Part II" 322
5.2.1.6	Bestimmung der Dauerlauf-Fahrzeuge 323
5.2.1.7	Bestimmung der Emissionstest-Fahrzeuge 324
5.2.1.8	Bestimmung der Fahrzeuge für Verdunstungs-Emissionstests 326
5.2.1.9	Bestimmung der Fahrzeuge für Kraftstoffverbrauchs-Tests 326
5.2.1.10	Die Kalifornien 100.000-Meilen-Option 326
5.2.1.11	Tests an Dauerlauf-Fahrzeugen ("durability data vehicles") 327
5.2.1.12	Tests an Emissionstest-Fahrzeugen ("emission data vehicles") 328
5.2.1.13	Nachtests bei der Behörde 328
5.2.1.14	Zertifizierungsflotten verschiedener Automobilhersteller 329
5.2.1.15	Dokumentationsanforderungen 330
5.2.2	Bewahren der Verkaufszulassung 331

	Seite
5.2.2.1	Maßnahmen in der Serienproduktion: "Running-Change"-Verfahren 331
5.2.2.2	Maßnahmen im Feld: "Field-Fix"-Verfahren 334
5.2.3	Zusätzliche Aufgaben zur Sicherstellung der Zertifikation: Vorber- reitende und flankierende Maßnahmen im Bereich der <i>Technik</i> 334
5.2.3.1	Zulassung von Teststrecken zur Meilenakkumulation des Dauerlaufs 335
5.2.3.2	Zulassung automatischer Rollenprüfstände zur Meilenakkumulation des Dauerlaufs 336
5.2.3.3	Zulassung von Emissionstest-Labors 338
5.2.3.4	Korrelationsprogramme zwischen den Zertifikationstest-Labors des Automobilherstellers und den Behörden-Labors 339
5.2.4	Zusätzliche Aufgaben zur Sicherstellung der Zertifikation: Vorber- reitende und flankierende Maßnahmen im Bereich der <i>Gesetzgebung</i> 343
5.2.4.1	Indirekte Gesetzesbeeinflussung durch Berichterstattung über den Entwicklungsstand des Automobilherstellers auf dem Gebiet der Emissionskontrolle in Form von "Status Report" 344
5.2.4.2	Direkte Gesetzesbeeinflussung durch Teilnahme an "Hearings" 345
5.2.4.3	Beweisführung gesetzeskonformer Zertifizierungsaktivitäten an- läßlich behördlicher Kontrollbesuche beim Automobilhersteller 347
5.2.5	Konsequenzen bei Fehlern im Zulassungsverfahren: Zertifikatsver- weigerung am Beispiel "Ford" 349
5.3	Problem Bereiche im Zusammenhang mit den Zertifizierungsaktivi- täten eines Automobilherstellers 351
5.3.1	Unerwartete Zusatz-Testforderungen durch die Behörden 351
5.3.1.1	Emissions-bezogene Zusatztests: HCN-Tests 352
5.3.1.2	Funktions-bezogene Zusatztests: "Defeat Device"-Tests 352
5.3.1.3	Konstruktions-bezogene Zusatztests: Tests auf Eingriffssicher- heit 356
5.3.2	Erweiterung der Zertifikationstest-Bedingungen: Zertifikation unter "Non-FTP"-Bedingungen 357
5.3.3	Erweiterung der Zertifikations-Gültigkeit: Zertifikation unter "Höhenbedingungen" 358
5.3.3.1	Die "Höhen-Gesetzgebung" der 49 Staaten 358
5.3.3.2	Die "Höhen-Gesetzgebung" Kaliforniens 362
5.3.4	Erweiterung der Zertifikations-Grundlagen: Einbeziehung des Problembereiches "Automobilabgas, Luftqualität und Gesundheit" 363
5.3.4.1	Gesetzlicher Hintergrund 364
5.3.4.2	Limitierte Schadstoffe ("regulated pollutants") 365
5.3.4.3	Nicht limitierte Schadstoffe ("unregulated pollutants") 366
5.3.4.4	Methoden zur Erforschung möglicher Gesundheitsbeeinflussung durch Automobilabgase 367
5.3.4.5	Der "Ames-Test" 368
5.3.4.6	Karzinogenese durch Benz(a)pyren 370
5.3.4.7	Ruß-Partikeln und B(a)P im Diesel-Abgas 371
5.3.4.8	Luftqualitäts-Betrachtungen 373

	Seite
5.3.4.9	Analytische Probleme 375
5.3.4.10	Daimler-Benz-Beteiligung an Forschungsprogrammen sowie eigene Forschung 376
5.3.5	Problembereiche und Kritik im Zusammenhang mit dem Dauerlauf-Verfahren und dem Verschlechterungsfaktor ("deterioration factor") 377
5.3.5.1	Der Sinn des Dauerlaufs 377
5.3.5.2	Grenzen des Dauerlaufs 378
5.3.5.3	Meilenakkumulation und Fahrverlauf 379
5.3.5.4	Fahrzeug-Wartung 380
5.3.5.5	Statistische Grundlage ("Operation Characteristic"-OC) des EPA-Zertifikationstest-Verfahrens 380
5.3.5.6	Statistische Auswertung des Dauerlaufs 382
5.3.5.7	Neueste Änderungen im Dauerlauf-Verfahren 385
5.3.6	Das Problem realistischer Bremsbelastungseinstellungen bei Rollenprüfständen für Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests 386
5.3.6.1	Der Rollenprüfstand mit Wasserwirbel-Bremse 388
5.3.6.2	Der Rollenprüfstand mit Wirbelstrom-Bremse 391
5.3.6.3	Der Rollenprüfstand mit Gleichstrom-Bremse 391
5.3.6.4	Einstellung der Bremsbelastung nach Tabelle 392
6.3.6.5	Einstellung der Bremsbelastung nach Saugrohrunterdruck 394
6.3.6.6	Berechnung der Bremsbelastung aus aerodynamischen Annahmen: Die "Formbeiwert-Methode" 396
5.3.6.7	Berechnung der Bremsbelastung aus aerodynamischen Annahmen: Die "Frontflächen-Methode" 397
5.3.6.8	Berechnung der Bremsbelastung aus einem Fahrzeug-Ausrollversuch 400
5.3.6.9	Direkte Bestimmung der Bremsbelastung durch Messung des realen Fahrwiderstandes auf der Straße mittels Drehmoment-Aufnehmern im Fahrzeug-Antrieb 402
5.3.6.9.1	Drehmomentmessung in der Kardanwelle oder in den Antriebswellen 402
5.3.6.9.2	Drehmomentmessung in den Antriebsrädern 403
5.3.6.9.3	Aufbau der Mercedes-Benz Drehmoment-Meßscheibe in den Fahrzeug-Antriebsrädern 403
5.3.6.9.4	Stationäre Versuche mittels Drehmoment-Meßeinrichtung in den Fahrzeug-Antriebsrädern 405
5.3.6.9.5	Instationäre Versuche mittels Drehmoment-Meßeinrichtung in den Fahrzeug-Antriebsrädern 408
5.3.6.9.6	Das "Mercedes Energy Separation Program" (MESP) 409
5.4	Kostenbetrachtungen 411
6.	Aufwand zur Emissionskontrolle in der Serienproduktion 413
6.1	USA-Kalifornien 414

	Seite
6.1.1	Historische Entwicklung der kalifornischen Serienkontroll-Vorschriften von 1970 bis Modelljahr 1981 414
6.1.2	Geplante Verfahrensänderungen für Modelljahr 1982 423
6.1.3	Statistische Betrachtung des kalifornischen "Quality Audit Test" (QAT) 424
6.1.3.1	Der "Quality Audit Test" (QAT) als attributives Verfahren 424
6.1.3.2	Die Operations-Charakteristik des attributiven Verfahrens 425
6.1.3.3	Der "Quality Audit Test" (QAT) als Variablenprüfung und seine Operations-Charakteristik 426
6.1.4	"Compliance Testing" durch das kalifornische ARB ("Title 13"-Tests) 427
6.1.4.1	Das kalifornische "Compliance Testing" bis einschließlich Modelljahr 1976 427
6.1.4.2	Das kalifornische "Compliance Testing" ab Modelljahr 1977 429
6.1.5	Die "Dealership Surveillance" durch das kalifornische ARB 430
6.2	USA - 49 Staaten 432
6.2.1	Historische Entwicklung der 49-Staaten Serienkontroll-Vorschriften 432
6.2.2	Das "Selective Enforcement Auditing" (SEA)-Verfahren der EPA 435
6.2.3	Statistische Betrachtung des SEA-Verfahrens (Operations-Charakteristik) 437
7.	Aufwand für die Betreuung der Emissionskontrollsysteme im praktischen Einsatz ("Defect Reporting" und "Recall") 438
7.1	Gesetzlicher Hintergrund der "Defect Reporting"-Vorschriften 439
7.2	Die Forderungen des "Defect Reporting"-Gesetzes 439
7.3	"Recall"-Aktionen 441
<u>Teil IV:</u>	<u>Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Japanischen Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren</u> 443
1.	Die Umweltsituation in Japan 443
1.1	Allgemeine Umweltsituation 443
1.2	Umweltsituation und Kraftfahrzeugverkehr 444
2.	Gesetzgebung und Behörden im Zusammenhang mit Kraftfahrzeug und Umweltschutz 447
2.1	Generelle Einfuhr-Prozedur eines Kraftfahrzeuges nach Japan 448
2.2	Organisation und Verantwortungen des japanischen Verkehrsministeriums ("Ministry of Transport", MOT) 449
2.3	Organisation und Verantwortungen der japanischen Umweltschutzbehörde ("Environment Agency", EA) 450
2.4	Der Weg eines Umweltschutz-Gesetzes von der Initiierung bis zur praktischen Anwendung am Beispiel von Emissionsgrenzwerten für Pkw 452

	Seite
2.5	Zusammenhänge der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung 453
3.	Historische Entwicklung und Ziele der Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw in Japan 455
3.1	Entwicklung der allgemeinen Umweltschutzgesetzgebung 455
3.2	Entwicklung spezieller Emissionskontrollgesetzgebung für Kraftfahrzeuge 458
4.	Entwicklung der japanischen Emissionsgrenzwerte für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren 460
5.	Entwicklung der japanischen Fahrzyklen für Abgastests auf Fahrzeug-Rollenprüfständen 463
5.1	Der "4-mode"-Zyklus 463
5.2	Der "Osaka 6-mode"-Zyklus 464
5.3	Die "SENKEN 8-mode"-Zyklen 465
5.4	Der "10-mode"-Zyklus mit Bewertungsfaktoren 466
5.5	Der endgültige "10-mode"-Zyklus 466
5.6	Der "11-mode"-Zyklus 467
5.7	Der "Tokyo Metropolitan"-Zyklus 467
<u>Teil V:</u>	<u>Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifikation, Produktion und Betrieb von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Japanischen Emissionskontrollgesetzgebung</u> 469
1.	Einleitung 469
2.	Einordnung der "Abgas-Zertifikation" in das japanische Zulassungs-Verfahren von Pkw 469
2.1	Das "Type Designation System" (TDS) 471
2.2	Das "Type Notification System" (TNS) 471
2.3	Das "Motor Vehicle Inspection System" (MVIS) 472
2.4	Das "Device Designation System" (DDS) 473
2.5	Ablauf einer "Abgas-Zertifikation" für den japanischen Markt am Beispiel der Daimler-Benz AG 473
3.	Besonderheiten der japanischen "Abgas-Zertifikation" 475
3.1	Dauerlauf zum Nachweis der Standfestigkeit und Funktions-tüchtigkeit des Emissions-Kontrollsystems 475
3.2	Ermittlung der Verschlechterung des Emissionsniveaus eines Fahrzeugs über der Laufzeit und die zugehörigen Katalysator-Wechselintervalle 476
3.3	Der Hitzeschaden-Test 479
3.3.1	Der Überhitzungs-Warnschutz-Test 479
3.3.2	Der Leerlauf-Test ("Idle-Test") 480
3.3.3	Der Hochgeschwindigkeits-Test ("High Speed Running Test") 480
3.3.4	Der Steigungs-Test ("Upgrade Running Test") 481
3.3.5	Der Mischverkehr-Test ("Congested Traffic Running Test") 481

	Seite
3.3.6	Hitzeschutz-Maßnahmen ("Heat Shielding Measures") 481
3.3.7	Der Fußgängerschutz-Test ("Hot Air Blast Test") 482
4.	Die Abgas-Zertifizierung von Pkw mit Diesel-Motoren 483
5.	Erleichterungen im Typzulassungs- und speziell im Abgas-Zertifikationsverfahren durch die japanischen Behörden 486
6.	Serienkontrolle 487
7.	Überwachung von Fahrzeugen im Verkehr 488
8.	Rückrufaktionen, Sanktionen und Kontrollbesuche 489
9.	Nicht limitierte Schadstoffe 489
10.	Kostenbetrachtungen 490
11.	Der "Graue Markt" 490
<u>Teil VI:</u>	<u>Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren</u> 493
1.	Die Luftqualitätssituation in Schweden 493
2.	Der Gesetzgebungsprozeß in Schweden 496
3.	Historische Entwicklung und Ziele der Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw in Schweden 496
3.1	Die Führungsgruppe des Verkehrsministeriums 498
3.2	Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse 500
3.3	Begrenzung der Schadstoffemissionen aus Diesel-Motoren 500
3.3.1	Vorschläge der Führungsgruppe 500
3.3.2	Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe 501
3.4	Begrenzung der HC- und CO-Emissionen von Fahrzeugen mit Otto-Motor 501
3.4.1	Das 3-Stufen-Programm zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff 502
3.4.2	Sonstige Vorschläge der Führungsgruppe 503
3.4.3	Erwartete Auswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen 503
3.4.4	Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe 505
3.5	Begrenzung und Kontrolle des Leerlauf-CO-Gehaltes in den Abgasen älterer Fahrzeuge 506
3.5.1	Erster Vorschlag der Führungsgruppe 506
3.5.2	Probleme und Untersuchungen zur Leerlauf-CO-Einstellung 506
3.5.3	Ergänzende Vorschläge der Führungsgruppe 507
3.5.4	Wirtschaftliche Folgen der Vorschläge der Führungsgruppe 508
3.5.5	Gesetzliche Folgen der Vorschläge der Führungsgruppe 508
3.6	Vorschriften zur Überwachung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen (Kurztests) 509

	Seite
3.7	Verschärfung der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für Fahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motoren 510
3.7.1	Vorschläge der Führungsgruppe für Fahrzeuge mit Otto-Motoren 510
3.7.2	Erwartete Auswirkungen der Empfehlungen der Führungsgruppe 513
3.7.3	Vorschläge der Führungsgruppe für Fahrzeuge mit Diesel-Motoren 514
3.7.4	Sonstige Vorschläge der Führungsgruppe 515
3.7.5	Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe 515
3.8	Verbesserungen auf dem Gebiet der Emissionsüberwachung von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen mit Otto-Motor 516
3.8.1	Vergleich der ursprünglich angestrebten Ziele mit dem tatsächlich Erreichten 516
3.8.2	Möglichkeiten zur Verbesserung der Kontrollen 517
3.8.2.1	Leerlaufprüfung 518
3.8.2.2	Prüfung mit konstanter Motorbelastung ("Key-Mode") 520
3.8.2.3	Vereinfachte Prüfung mit Fahrprogramm (Kurztest) 520
3.8.2.4	Funktionskontrolle 521
3.8.3	Vorschläge der Beratungsgruppe 521
3.8.4	Wirtschaftliche Folgen der Vorschläge der Beratungsgruppe 522
3.8.4.1	Kosten einer erweiterten Leerlaufprüfung 523
3.8.4.2	Kosten einer "Key-Mode"-Prüfung 523
3.8.4.3	Kosten einer Stichprobenkontrolle 524
3.9	Chronologische Zusammenfassung der Gesetz gewordenen schwedischen Emissions-Kontrollvorschriften für Pkw 525
4.	Untersuchungen und Programme offizieller Stellen 526
4.1	Erfassung von Emissionen ungereinigter Fahrzeuge ("baseline studies") 526
4.2	Erfassung von HC- und CO-Emissionen im Leerlauf und bei Motor-Kaltstart 528
4.3	Überprüfung der Reproduzierbarkeit von Leerlauf-CO-Einstellungen 529
4.4	Untersuchungen über den Einfluß von Veränderungen an Abgasreinigungsanlagen von Pkw auf deren Emissionsverhalten 530
5.	Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen mit Otto-Motor der Modelljahre 1971 bis 1976 in Barkaby und Studsvik ("Surveillance-Tests") 532
5.1	Ergebnisse und Folgen der "Surveillance-Tests" 532
5.2	Periodische Inspektionen der "AB Svensk Bilprovning" 533
6.	Ausblicke und Prognosen für die Jahre 1980 bis 2000 537
6.1	Wirtschaftswachstum und Fahrzeuggebrauch 537
6.2	Prognosen bis zum Jahr 2000 538
6.3	Anforderungen an das Fahrzeug 539
6.4	Schlußfolgerungen 539



	Seite
6.5 Kurzfristige regierungsseitige Konsequenzen für die schwedische Emissionskontrollgesetzgebung	541
<u>Teil VII:</u> Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifika- tion, Produktion und Betrieb von Pkw mit Otto- und Diesel-Moto- ren unter den Vorschriften der Schwedischen Emissionskontroll- gesetzgebung	545
1. Einleitung	545
2. Die schwedischen Fahrzeug-Zulassungs- und Überprüfungsverfahren	546
2.1 Die "Registrierungsbesichtigung"	546
2.2 Die "Typbesichtigung"	547
2.3 Periodische Inspektionen	549
3. Die schwedischen Abgas-Zertifizierungsverfahren	550
3.1 Das Abgas-Zertifizierungsverfahren für Pkw mit Otto-Motoren bis einschließlich Modelljahr 1975	551
3.2 Das Abgas-Zertifizierungsverfahren für Pkw mit Otto-Motoren ab Modelljahr 1976	551
4. Sanktionen, Kontrollbesuche, Rückrufaktionen	553
5. Veränderungen der Auflagen und Verantwortungen für den Auto- mobilhersteller im Rahmen der Weiterentwicklung der schwedi- schen Emissionskontrollgesetzgebung	553
5.1 Veränderungen im Programm der periodischen Inspektionen	554
5.2 Veränderungen im Zertifizierungsverfahren	555
5.2.1 Ziele des von Eric O. Stork vorgeschlagenen Systems einer neuen schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung	556
5.2.2 Funktionsfähigkeit des Stork-Vorschlages	557
5.2.3 Konsequenzen einer Realisierung der Stork-Vorschläge für die Automobilindustrie	558
5.2.4 Konsequenzen einer Realisierung der Stork-Vorschläge für den Fahrzeugbenutzer	559
5.2.5 Wirtschaftlich/rechtliche Konsequenzen einer Realisierung der Stork-Vorschläge	560
<u>Teil VIII: Ausblick</u>	561
Literaturhinweise	567
Abkürzungen und Begriffserläuterungen	Anhang
Lebenslauf	

## Table of Contents

<u>Part I:</u>	<u>Introduction - Objective - General Facts</u>	
1.	Introduction and objective	1
2.	General facts	2
2.1	Historical development of the demands on the passenger car and its engine	2
2.2	Consideration of air quality	7
2.2.1	The global impact of emissions on air quality	7
2.2.2	The local impact of emissions on air quality	9
2.2.3	Qualification of the emission impact on air quality	11
2.3	Emissions from a passenger car with gasoline engine	14
2.3.1	Emissions from the crankcase	15
2.3.2	Evaporative emissions	18
2.3.3	"Background" emissions	18
2.3.4	Emissions from the carburetor	18
2.3.5	Emissions from the fuel tank	20
2.3.6	Emissions from the combustion process	22
2.4	Emissions from a passenger car with Diesel engine	26
2.4.1	The combustion principle of a Diesel engine	27
2.4.2	Gaseous emissions	29
2.4.3	Particulate matter emissions	32
2.4.3.1	Physical aspects of soot formation	34
2.4.3.2	Chemical aspects of soot formation	35
2.4.3.3	Properties of Diesel soot	37
2.5	Comparison of emissions from passenger cars with gasoline- and Diesel engines	38
2.6	The status of the automotive industry in selected export countries	39
2.6.1	The status of the automotive industry in the USA	40
2.6.1.1	The import situation in the USA	41
2.6.1.2	The export situation in the USA	41
2.6.1.3	Emission control legislation and the status of the automotive industry in the USA	42
2.6.2	The status of the automotive industry in Japan	43
2.6.2.1	The import situation in Japan	44
2.6.2.2	The export situation in Japan	44

	Page
2.6.2.3	Emission control legislation and the status of the automotive industry in Japan 47
2.6.3	The status of the automotive industry in Sweden 48
2.6.3.1	The import situation in Sweden 49
2.6.3.2	The export situation in Sweden 49
2.6.3.3	Emission control legislation and the status of the automotive industry in Sweden 50
2.7	The tax situation for international trade with passenger cars 51
<u>Part II:</u>	<u>Legislative Efforts for the Determination, Limitation and Reduction of Pollutant Emissions from Automobiles Discussed by Means of the Historical Development of the US-California and -49 States Emission Control Legislation for Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines</u>
1.	The air quality status in the USA 53
1.1	Air quality in California 53
1.1.1	Reaching the tolerable borderline 53
1.1.2	Efforts to improve air quality 54
1.1.3	Concerns focus on the automobile 55
1.1.4	The impact of automobile emissions on the air quality in California 55
1.1.5	"Air Quality (AQ-)Standards" - a prerequisite for emission standards 56
1.1.6	Mechanism of smog formation 60
1.2	Air quality in the 49-States 61
1.2.1	The "Air Quality Standards" of the US-EPA 61
1.2.2	The air quality in US-cities before introduction of emission control on passenger cars 62
1.2.3	The impact of road vehicle traffic on the "baseline"-air quality status in the USA 63
1.2.4	Effects of the first countermeasures against vehicle emissions 64
1.2.5	Monitoring the nationwide air quality: The "AEROS"-system 65
1.2.5.1	The "NEDS" data base for point sources 65
1.2.5.2	The "NEDS" data base for area sources 66
1.2.5.3	The "NEDS" data base for emission factors 66
1.2.6	The air quality situation five years after nationwide introduction of vehicle emission control on passenger cars
2.	The legislative process in the USA 70
2.1	From the "Bill" to the signature by the President 70
2.2	From the signature by the President to the Publication in the "Federal Register" 73
2.3	Interpretation of the "Federal Register" through the "Advisory Circulars" of the EPA 73
3.	Historical development and objectives of the US-emission control legislation for passenger cars 74

		Page
3.1	California Governmental agencies and legislation	74
3.1.1	The "California Health and Safety Code" and the "California Department of Public Health"	74
3.1.2	The origin of California's air quality legislation: The "Stewart Act" of 1947	75
3.1.3	The "California Motor Vehicle Pollution Control Board (CMVPCB)	76
3.1.4	The "Mullford Carell Air Resources Act" of 1967 and the establishment of the "California Air Resources Board" (CARB)	76
3.1.5	The "Pure Air Act" of 1958	76
3.2	Federal governmental agencies and legislation	77
3.2.1	The origin of Federal air quality legislation: The "Donora"-incident of 1948	77
3.2.2	The "Public Health Service Act" and the "Air Pollution Control Act" of 1955	77
3.2.3	The "Schenck Act" of 1960 ("Motor Vehicle Exhaust Act")	78
3.2.4	The "Clean Air Act" of 1963	79
3.2.5	The "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" of 1965	80
3.2.6	The "Clean Air Act Amendments" of 1966	81
3.2.7	The "Air Quality Act" of 1967 and the establishment of the "National Center of Air Pollution Control"	81
3.2.8	The "National Environmental Policy Act" (NEPA) of 1969	83
3.2.9	The "Environmental Quality Improvement Act" of 1970	83
3.2.10	The "Clean Air Amendments" of 1970	83
3.2.10.1	Waiver of standards (Sec. 202 (b) (5&6))	86
3.2.10.2	Prohibited acts ("tampering") for dealers and individual persons (Sec. 203)	87
3.2.10.3	Penalties in case of violations of the requirements about prohibited acts (Sec. 205)	88
3.2.10.4	Testing of vehicles in actual use ("surveillance testing") and warranty requirements (Sec. 207)	88
3.2.10.5	State-individual rights to certify and license vehicles (Sec. 209)	89
3.2.11	The "Energy Supply and Environmental Coordination Act" (ESECA) of 1974	89
3.2.12	The "Clean Air Act Amendments" of 1977 ("Today's Clean Air Act")	89
3.2.12.1	Changes compared with the former status of the Act	89
3.2.12.2	Prerequisites for receiving exemptions from standards ("waiver")	92
3.2.13	Summary of the history of the "Clean Air Act - as ammended"	92
4.	Philosophy of the US-emission control legislation	93
4.1	The "Best Practical Means Approach"	94
4.2	The "Air Resources Management Approach"	94
4.3	Historical development of the philosophy of the US emission control legislation	95
4.3.1	Development of emission control technologies by the government from 1955 to 1963	96

		Page
4.3.2	Requirements for application of emission control technologies developed by the government from 1965 to 1969	97
4.3.3	The milestone of 1970: The development burden of emission control technologies shift from government to industry	101
4.3.4	Limitations and results of the "technology forcing" concept	103
4.3.5	The new philosophy starting from 1977: The automotive industry is required to prove the non-existence of a health hazard when its emission control technologies are applied and to take over full technical and moral responsibility	105
5.	The "Consent Decree"	108
5.1	Background	108
5.2	The charge	109
5.3	The settlement	110
5.4	Opinions about the "Consent Decree"	111
5.5	Consequences of the "Consent Decree"	112
5.6	Consequences of the 1969-plea of the "Department of Justice" against the AMA	112
5.7	Ten years later: The end of the "Consent Decree"?	113
6.	Historical development of standards, test procedures and driving cycles of the US-emission control legislation for passenger cars	114
6.1	Historical development of emission standards in the California legislation	114
6.1.1	Formulation of the world's first exhaust emission standards for passenger cars	115
6.1.1.1	The CO-standard	115
6.1.1.2	The HC-standard	116
6.1.1.3	The "Rollback"-method	116
6.1.2	Chronological further development of emission standards in California	117
6.1.2.1	Standards for crankcase blowby-gases	117
6.1.2.2	Standards for evaporative emissions	117
6.1.2.3	Standards for exhaust emissions	118
6.2	Development of Federal emission standards	119
6.2.1	Formulation of reduction steps for exhaust emission standards necessary to achieve an air quality which does not pose a health risk (basis of the "Clean Air Amendments" of 1970)	121
6.2.2	The "Modified Rollback" method	121
6.2.3	Chronological further development of Federal emission standards	123
6.2.3.1	Standards for crankcase blowby-gases	123
6.2.3.2	Standards for evaporative emissions	124
6.2.3.3	Standards for exhaust emissions (under certification test conditions)	124
6.2.3.4	Standards for exhaust emissions (under conditions other than those for the certification test)	127

	Page
6.3	Development of emission test procedures under California legislature: The concentration measurement as of model year 1966 128
6.4	Development of emission test procedures under Federal legislature 130
6.4.1	The concentration measurement with engine displacement - based emission standards as of model year 1968 130
6.4.2	The concentration measurement with conversion to mass basis as of model year 1970 130
6.4.3	The true mass emission measurement 132
6.4.3.1	The CVS-C method as of model year 1972 132
6.4.3.2	The CVS-C method with NO <sub>x</sub> measurement for model years 1973 and 1974 133
6.4.3.3	The CVS-CH method as of model year 1975 for passenger cars with gasoline engines 134
6.4.3.4	The CVS-CH method for passenger cars with Diesel engines (49 States as of model year 1975, California as of model year 1980) 136
6.4.3.5	The CVS-CH method for passenger cars with Diesel engines with particulate matter measurement (49 States and California as of model year 1982) 136
6.5	Development of driving cycles by California authorities 137
6.5.1	The California 11-mode road test 137
6.5.2	The California 7-mode cycle for chassis dynamometers 139
6.5.3	The California 11-mode chassis dynamometer cycle and the first certification driving cycle 140
6.5.4	The California XC15-cycle 142
6.6	Development of driving cycles by Federal authorities 144
6.6.1	The Federal emission test driving cycle (UDDS = "Urban Dynamometer Driving Schedule" or "LA4-cycle") 144
6.6.2	The Federal "Sulfate-Test" (CUFDS = "Congested Urban Freeway Driving Schedule") 146
6.7	Interrelationship of different steps within the US-emission control legislation for passenger cars up to the establishment of the CVS-CH method 147
6.8	Interrelationship among test procedures, driving cycles and emission standards with historical development of the "Statutory Standards" 149
7.	Common work performed by government and automobile industry to investigate exhaust emissions from passenger cars and passenger car engines 149
7.1	"Baseline" studies 153
7.1.1	The "CRC 169 car HC/CO-study" and other investigations 154
7.1.2	The 1000 car HC/CO/NO <sub>x</sub> study: "Los Angeles Auto Exhaust Test Station Project" <sup>x</sup> 154
7.1.3	The California 8-mode cycles 155
7.2	The CRC and the APRAC 156

	Page
8.	158
Governmental testing programs on vehicles in use ("surveillance"- or "in-use compliance testing") and "emission warranty regulations of the USA-EPA	
8.1	158
Short tests for emission testing of in-use vehicles	
8.1.1	159
The "Idle Test" and the "Two Speed Idle Test"	
8.1.2	159
The "Federal 3-Mode Test"	
8.1.3	160
The "Clayton Key-Mode Test"	
8.1.4	161
The "Modal Exhaust Emission Test Procedure	
8.1.5	162
The "Federal Short Cycle-Test"	
8.1.6	162
The "New Jersey/New York Composite Cycle-Test"	
8.1.7	163
The "New York City Cycle-Test"	
8.2	164
Determination of the emission situation of in-use vehicles	
8.2.1	164
Programs on a national basis: The EPA "Emission Factors Program"	
8.2.1.1	165
The EPA program of fiscal year 1975	
8.2.1.2	166
Evaluation of the 1975-program	
8.2.2	171
Programs on a state-individual basis: Survey	
8.2.2.1	171
New Jersey and the "New Jersey ACID-Test"	
8.2.2.2	175
The "New Jersey REPAIR-Project" and the "New Jersey Idle Test"	
8.2.2.3	178
Consequences of the "New Jersey REPAIR-Project"	
8.2.2.4	179
Guideline values for in-use vehicle inspection	
8.2.2.5	180
Smoke limitations	
8.3	180
First attempt to establish short test regulations ("cutpoint"-system) with "emission warranty obligation"	
8.4	183
Regulations about short tests and "exhaust emission warranty"	

Part III:     Efforts and Problems for the Automobile Manufacturer for the Certification, Production and Operation of Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines under the US-California-US-49 States Exhaust Emission Control Regulations

1.	185
Introduction	
2.	187
Technique and functional principle of means and systems for emission control on passenger cars with gasoline engines	
2.1	187
Means and systems to limit emissions from the engine's crankcase	
2.1.1	191
The crankcase blowby-gas control systems first certified in California	
2.1.2	191
Executions of the "Blowby Diversion"	
2.1.3	192
The "Negative Crankcase Pressure"-system	
2.1.4	192
Comparison of the historical "Road Draft Tube" with a "Negative Crankcase Pressure"- and a "PCV-System"	
2.1.5	193
Execution applied by Daimler-Benz	

	Page
2.2	Means and systems to limit evaporative emissions from the fuel system 195
2.2.1	Means on the carburetor 196
2.2.2	Crankcase storage of evaporative emissions from the fuel tank on the example of Mercedes-Benz passenger cars 197
2.2.3	Canister storage of evaporative emissions from the fuel tank on the example of Mercedes-Benz passenger cars 198
2.3	Means and systems to limit pollutant emissions from the exhaust pipe: Countermeasures <i>in front of</i> the combustion chamber 200
2.3.1	Modifications on the air intake system 201
2.3.2	Modifications on the carburetor system 203
2.3.2.1	Improvement of mixture adjustability and mixture stability in idle 204
2.3.2.2	Stabilization of idle rpm 206
2.3.2.3	Optimization of engine warm-up 206
2.3.2.4	Modifications for coasting conditions 207
2.3.2.5	High altitude correction 211
2.3.2.6	Development of a carburetor with emission control-related modifications for Mercedes-Benz 4-cyl. engines in the USA from model year 1968 to 1978 212
2.3.2.7	Development of a carburetor with emission control-related modifications for Mercedes-Benz 6-cyl. engines in the USA from model year 1968 to 1978 214
2.3.2.8	The carburetor as part of future emission control system 216
2.3.3	Modifications on fuel injection systems on the example of Mercedes-Benz passenger cars for the US-market 218
2.3.3.1	The mechanical fuel injection system with stroke-to-stroke delivery from model year 1968 to 1972 219
2.3.3.2	Improvement of mixture adjustability and mixture stability 221
2.3.3.3	Optimization of emissions during engine warm-up 222
2.3.3.4	Stabilization of idle rpm 223
2.3.3.5	Modifications for coasting conditions 224
2.3.3.6	Taking into account crankcase blowby- and evaporative gases 225
2.3.3.7	High altitude correction 225
2.3.3.8	Outlay and functional principle of the electronically governed fuel injection system with intermittent delivery ("D-Jetronic") for Mercedes-Benz passenger cars from model year 1971 to 1975 225
2.3.3.9	Outlay and functional principle of the electronically governed fuel injection system with intermittent delivery and air flow measurement ("L-Jetronic") 230
2.3.3.10	Outlay and functional principle of the mechanically governed fuel injection system with continuous delivery and air flow measurement ("K-Jetronic") for Mercedes-Benz passenger cars as of model year 1976 232



	Page
2.3.2.11 The "Hot-Wire"-system for true air mass flow measurement ("LH-Jetronic")	235
2.3.4 Modifications on intake manifold and intake duct	236
2.3.4.1 Homogeneous mixture distribution	238
2.3.4.2 Intake manifold heating and mixture pre-heating	238
2.3.4.3 Exhaust gas recirculation	241
2.4 Means and systems to limit pollutant emissions from the exhaust pipe: Countermeasures <i>in</i> the combustion chamber	247
2.4.1 Combustion chamber shape and "quenching"	248
2.4.2 The compression ratio	249
2.4.3 Modifications to the ignition	249
2.4.3.1 Ignition retard	250
2.4.3.2 Development and application of the ignition system	251
2.4.3.3 The conventional coil ignition system	251
2.4.3.4 The transistorized coil ignition system	252
2.4.3.5 The breakerless ignition system	253
2.4.3.6 The high voltage condenser ignition system and multi-spark ignition systems	253
2.4.3.7 The fully electronic ignition system	254
2.4.4 Increase of combustion chamber wall temperature	255
2.4.5 Cam shaft timing	256
2.4.6 Piston rings and firewall	256
2.5 Means and systems to limit pollutant emissions from the exhaust pipe: Countermeasures <i>behind</i> the combustion chamber	256
2.5.1 Portliner	
2.5.2 Thermal afterburning	257
2.5.2.1 The "Ignition Cut-Off Burner"	258
2.5.2.2 Thermal afterburning by means of air injection ("Manifold Air Oxidation", "Man-Air-Ox", "MAO")	258
2.5.2.3 Thermal afterburning by means of reactors without air injection ("lean thermal reactors")	260
2.5.2.4 Thermal afterburning by means of reactors with air injection ("rich thermal reactors")	261
2.5.3 Catalytic afterburning	265
2.5.3.1 Oxidation catalysts	266
2.5.3.2 Reduction catalysts	268
2.5.3.3 Double-bed catalysts	268
2.5.3.4 Selective- (or three way) catalysts with O <sub>2</sub> -sensor	269
2.5.3.5 Special problems of the catalyst technology	271
3. Technique and functional principle of means and systems for emission control on passenger cars with Diesel engines	275
3.1 Means and systems to limit emissions from the engine's crankcase	276

3.1.1	The reason for the lack of regulations for the control of emissions from the crankcase of passenger cars with Diesel engines	276
3.1.2	The importance of a crankcase blowby-gas control system on passenger cars with Diesel engines equipped with exhaust gas recirculation system	277
3.2	Evaporative emissions	278
3.3	Means and systems to limit pollutant emissions from the exhaust pipe: Countermeasures <i>in front of</i> the combustion chamber	279
3.3.1	Modifications to the inlet air temperature	281
3.3.2	Fuel aspects	281
3.3.2.1	Aromatic content and cetane number	281
3.3.2.2	Fuel density	283
3.3.2.3	Boiling characteristics	283
3.3.2.4	Additives	283
3.3.3	Fuel injection equipment	284
3.3.3.1	Delivery rate	285
3.3.3.2	Delivery rate and injection pressure	285
3.3.3.3	After injection	286
3.3.3.4	Injection timing	287
3.3.3.5	Injection nozzle design and injection spray distribution	287
3.3.4	Modifications on the air inlet system	288
3.3.4.1	Air distribution	288
3.3.4.2	Throtteling	289
3.3.4.3	Exhaust gas recirculation	289
3.3.4.4	Exhaust gas recirculation on turbocharged Diesel engines	291
3.4	Means and systems to limit pollutant emissions from the exhaust pipe: Countermeasures <i>in</i> the combustion chamber	292
3.4.1	The bore/stroke ratio	292
3.4.2	The compression ratio	293
3.4.3	Combustion chamber design and turbulence (primary combustion chamber)	293
3.4.4	Combustion chamber design and turbulence (secondary combustion chamber)	294
3.4.5	Temperature conditions in the primary (main) combustion chamber	295
3.5	Means and systems to limit pollutant emissions from the exhaust pipe: Countermeasures <i>behind</i> the combustion chamber	295
3.5.1	Modifications to reduce particulate matter emissions	295
3.5.1.1	Oxidation of free-floating soot	295
3.5.1.2	Soot trapping without self-regeneration	296
3.5.1.3	Soot trapping with self-regeneration on the basis of filter mats	296
3.5.1.4	Soot trapping with self-regeneration on the basis of ceramic monoliths	297

4.	Survey of emission control systems applied to serial production vehicles from model year 1968 to 1982 on the example of Mercedes-Benz passenger cars	298
4.1	Systems on Mercedes-Benz passenger cars with gasoline engines	299
4.1.1	Model years 1968 and 1969	299
4.1.2	Model years 1970 to 1972	301
4.1.3	Model year 1973	303
4.1.4	Model year 1974	303
4.1.5	Model years 1975 and 1976	304
4.1.6	Model years 1977 and 1978	305
4.1.7	Model year 1979	306
4.1.8	Model year 1980	306
4.1.9	Model years 1981 and 1982	307
4.2	Systems on Mercedes-Benz passenger cars with Diesel engines	308
4.2.1	Model years 1975 to 1977	308
4.2.2	Model year 1978	309
4.2.3	Model year 1979	309
4.2.4	Model year 1980	309
4.2.5	Model years 1981 and 1982	310
5.	Efforts for the certifications process	310
5.1	Historical view back	311
5.1.1	USA-California	311
5.1.2	USA - 49 States	312
5.2	Objectives and responsibilities for the work of the certification department of an automobile manufacturer	312
5.2.1	Obtaining a certificate	314
5.2.1.1	Selection of the certification procedure	314
5.2.1.2	Assembly of technical information for the notification documents: "Part I"	319
5.2.1.3	Assembly of screening documents during the certification process: "Questionnaires"	321
5.2.1.4	Formulation of reports about interferences during the certifications process: "Engineering Reports"	322
5.2.1.5	Assembly of technical documentation about finalization of the certification process: "Part II".	322
5.2.1.6	Determination of "durability vehicles"	323
5.2.1.7	Determination of "emission data vehicles"	324
5.2.1.8	Selection of vehicles for evaporative emission testing	326
5.2.1.9	Selection of vehicles for fuel economy testing	326
5.2.1.10	The California 100 000 miles option	326
5.2.1.11	Tests on "durability vehicles"	327
5.2.1.12	Tests on "emission data vehicles"	328
5.2.1.13	Confirmatory testing by the authorities	328

	Page
5.2.1.14	Certification vehicle fleets of various automobile manufacturers 329
5.2.1.15	Documentation requirements 330
5.2.2	Safeguarding the certificate 331
5.2.2.1	Introduction of technical modifications into serial production: The "Running Change"-system 331
5.2.2.2	Introduction of technical modifications to in-use vehicles: The "Field Fix"-system 334
5.2.3	Additional tasks to safeguard the certification process: Preparatory and assisting activities in the <i>technical</i> field 334
5.2.3.1	Approving test tracks for mileage accumulation of durability vehicles 335
5.2.3.2	Approving automatic chassis dynamometers for mileage accumulation of durability vehicles 336
5.2.3.3	Approving emission test facilities 338
5.2.3.4	Correlation programs among the emission test facilities of the automobile manufacturer and the authorities 339
5.2.4	Additional tasks to safeguard the certification process: Preparatory and assisting activities in the <i>legislative</i> field 343
5.2.4.1	Indirect participation in the formulation of regulations by reporting about the technological status of the automobile manufacturer in the field of emission control by means of "Status Reports" 344
5.2.4.2	Direct participation by attending "Hearings" 345
5.2.4.3	Documentation of certification activities according to the "letter and intent of the law" during audits by the authorities at the car manufacturer 347
5.2.5	Consequences of mistakes made by the car manufacturer during the certification process: Withhold. of certificate on the example of the Ford Motor Co. case 349
5.3	Problem areas in connection with the certification activities of a car manufacturer 351
5.3.1	Unannounced additional testing requirements by the authorities 351
5.3.1.1	Emission-related additional test requirements: HCN-testing 352
5.3.1.2	Operation-related additional test requirements: "Defeat device" testing 352
5.3.1.3	Design-related additional test requirements: Testing of tamper-proof design parameters
5.3.2	Widening the scope of certification test conditions: Certifica- tion under "Non-FTP"-conditions 357
5.3.3	Widening the scope of certification validity: Certification under "High Altitude"-conditions 358
5.3.3.1	The "High Altitude Regulations" of the 49 States 358
5.3.3.2	The "High Altitude Regulations" of California 362
5.3.4	Widening the scope of basic certification objectives: Inclusion of the aspect "automobile exhaust, air quality and human health" 363
5.3.4.1	Legal background 364
5.3.4.2	Regulated pollutants 365
5.3.4.3	Unregulated pollutants 366

	Page
5.3.4.4	Methods to investigate possible health hazards by automobile exhaust gases 367
5.3.4.5	The "Ames-Test" 368
5.3.4.6	Carcinogenics by benzo(a)pyrene 370
5.3.4.7	Soot particulates and B(a)P in Diesel-exhaust 371
5.3.4.8	Air quality considerations 373
5.3.4.9	Analytical problems 375
5.3.4.10	Daimler-Benz participation in research projects and in-house programs 376
5.3.5	Problem areas and critique in connection with durability testing and deterioration factor calculation 377
5.3.5.1	The intent of the durability run 377
5.3.5.2	Limitations of the durability run 378
5.3.5.3	Mileage accumulation and driving schedule 379
5.3.5.4	Vehicle maintenance 380
5.3.5.5	Statistical basis ("operation characteristic"-OC) of the EPA certification procedure 380
5.3.5.6	Statistical evaluation of the durability run 382
5.3.5.7	Latest modifications to the durability procedure 385
5.3.6	The problem of realistic power absorption adjustment on chassis dynamometers for exhaust emission- and fuel economy testing 386
5.3.6.1	The chassis dynamometer with water brake 388
5.3.6.2	The chassis dynamometer with eddy current brake 391
5.3.6.3	The chassis dynamometer with direct current brake 391
5.3.6.4	Power absorption adjustment according to a fixed table 392
5.3.6.5	Power absorption adjustment according to intake manifold vacuum 394
5.3.6.6	Calculation of power absorption adjustment from aerodynamic assumptions: The "Body Shape Coefficient Method" 396
5.3.6.7	Calculation of power absorption adjustment from aerodynamic assumptions: The "Frontal Area Method" 397
5.3.6.8	Calculation of power absorption based on vehicle coastdown testing 400
5.3.6.9	Direct determination of power absorption through measurement of real road load by means of torque measuring devices in the vehicle's drive train 402
5.3.6.9.1	Torque measurement in the drive shaft or in the transaxles 402
5.3.6.9.2	Torque measurement in the driving wheels 403
5.3.6.9.3	Outlay of the Mercedes-Benz "torque disc" for installation in the vehicle's drive wheels 403
5.3.6.9.4	Testing at constant speeds ("stationary testing") with the torque disc in the vehicle's drive wheels 405
5.3.6.9.5	Testing over driving sequences ("dynamic testing") with the "torque disc" in the vehicle's drive wheels 408
5.3.6.9.6	The "Mercedes Energy Separation Program" (MESP) 409
5.4	Cost considerations 411
6.	Efforts for emission control in serial production 413

		Page
6.1	US-California	414
6.1.1	Historical development of the California assembly line testing regulations from 1970 to model year 1981	414
6.1.2	Planned modifications for model year 1982	423
6.1.3	Statistical consideration of the California "Quality Audit Test" (QAT)	424
6.1.3.1	The "Quality Audit Test" (QAT) as a "method by attribute"	424
6.1.3.2	The operation characteristic of the "method by attribute"	425
6.1.3.3	The "Quality Audit Test" (QAT) as a "method by variables" and its operation characteristics	426
6.1.4	"Compliance testing" by the California ARB ("Title 13-Testing")	427
6.1.4.1	The California "compliance testing" up to model year 1976	427
6.1.4.2	The California "compliance testing" as of model year 1977	429
6.1.5	The "Dealership Surveillance" by the California ARB	430
6.2	USA - 49 States	432
6.2.1	Historical development of the 49 states assembly line testing regulations	432
6.2.2	The "Selective Enforcement Auditing" (SEA) procedure of the EPA	435
6.2.3	Statistical consideration of the SEA procedure (operation characteristic)	437
7.	Efforts for caring about emission control systems in actual field operation ("defect reporting" and "recall")	438
7.1	Legal background of the "defect reporting regulations"	439
7.2	The requirements of the "defect reporting regulations"	439
7.3	"Recall" actions	441

Part IV:      Legislative Efforts for the Determination, Limitation and Reduction of Pollutant Emissions from Automobiles Discussed by Means of the Historical Development of the Japanese Emission Control Legislation for Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines

1.	The air quality status in Japan	443
1.1	General air quality status	443
1.2	Air quality and vehicle traffic	444
2.	Legislation and authorities related to the automobile and protection of the environment	447
2.1	General procedure for the import of a vehicle into Japan	448
2.2	Organization and responsibilities of the Japanese "Ministry of Transport" (MOT)	449
2.3	Organization and responsibilities of the Japanese "Environment Agency" (EA)	450
2.4	The path of an environmental protection law from initiation to practical applicability on the example of emission standards for passenger cars	452
2.5	Interrelationships of the Japanese emission control legislation	453
3.	Historical development and objectives of the Japanese emission control legislation	455

		Page
3.1	Development of the general environmental protection legislation	455
3.2	Development of special emission control legislation for automobiles	458
4.	Development of the Japanese emission standards for passenger cars with gasoline- and Diesel-engines	460
5.	Development of the Japanese driving cycles for exhaust emission testing on chassis dynamometers	463
5.1	The "4-mode"-cycle	463
5.2	The "Osaka 6-mode"-cycle	464
5.3	The "SENKEN 8-mode"-cycles	465
5.4	The "10-mode"-cycle with weighing factors	466
5.5	The final "10-mode"-cycle	466
5.6	The "11-mode"-cycle	467
5.7	The "Tokyo Metropolitan"-cycle	467

Part V:      Efforts and Problems for the Automobile Manufacturer for the Certification, Production and Operation of Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines under the Japanese Exhaust Emission Control Regulations

1.	Introduction	469
2.	Incorporation of the "Emission Certification" into the Japanese homologation procedure for passenger cars	469
2.1	The "Type Designation System" (TDS)	471
2.2	The "Type Notification System" (TNS)	471
2.3	The "Motor Vehicle Inspection System" (MVIS)	472
2.4	The "Device Designation System" (DDS)	473
2.5	The emission certification procedure for the Japanese market on the example of Daimler-Benz AG	473
3.	Special requirements of the Japanese emission certification procedure	475
3.1	The durability run for demonstration of endurance and long time performance of the emission control system	475
3.2	Determination of the deterioration of a vehicle's emission characteristics over extended mileage and deduction of the corresponding catalyst change intervals	476
3.3	The "Heat Damage Test"	479
3.3.1	The "Overheat Temperature Warning Device Test"	479
3.3.2	The "Idle-Test"	480
3.3.3	The "High Speed Running Test"	480
3.3.4	The "Upgrade Running Test"	481
3.3.5	The "Congested Traffic Running Test"	481
3.3.6	Heat Shielding Measures	481
3.3.7	The "Hot Air Blast Test"	482
4.	The emission certification procedure for passenger cars with Diesel engines	483

	Page
5. Relaxations in the homologation procedure and especially in the emission certification procedure by Japanese authorities	486
6. Assembly line control	487
7. Surveillance testing of in-use vehicles	488
8. Recall, sanctions and audits at the car manufacturers	489
9. Unregulated pollutants	489
10. Cost considerations	490
11. The "Grey Market"	490

Part VI:      Legislative Efforts for the Determination, Limitation and Reduction of Pollutant Emissions from Automobiles Discussed by Means of the Historical Development of the Swedish Emission Control Legislation for Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines

1. The air quality status in Sweden	493
2. The legislative process in Sweden	496
3. Historical development and objectives of the Swedish emission control legislation for passenger cars	496
3.1 The guidance group of the ministry of transportation	498
3.2 Regulating the emissions from the engine's crankcase	500
3.3 Regulating the pollutant emissions from Diesel engines	500
3.3.1 Proposals by the guidance group	500
3.3.2 Legal consequences of the recommendations of the guidance group	501
3.4 Regulating HC- and CO-emissions from vehicles with gasoline engines	501
3.4.1 The 3-step program to regulate pollutant emissions from the exhaust pipe	502
3.4.2 Other proposals by the guidance group	503
3.4.3 Expected consequences of the proposed countermeasures	503
3.4.4 Legal consequences of the recommendations of the guidance group	505
3.5 Regulating and testing of the idle-CO content in the exhaust gas of older vehicles	506
3.5.1 First proposal of the guidance group	506
3.5.2 Problems and investigations related to idle-CO adjustment	506
3.5.3 Supplementary proposals of the guidance group	507
3.5.4 Economical consequences of the proposals of the guidance group	508
3.5.5 Legal consequences of the recommendations of the guidance group	508
3.6 Regulations for surveillance testing of in-use vehicles (short tests)	509
3.7 Strengthening of the Swedish emission control legislation for vehicles with gasoline- and Diesel engines	510
3.7.1 Proposals of the guidance group for vehicles with gasoline engines	510



	Page
3.7.2	Expected consequences of the recommendations of the guidance group 513
3.7.3	Proposals of the guidance group for vehicles with Diesel engines 514
3.7.4	Other proposals by the guidance group 515
5.7.5	Legal consequences of the recommendations of the guidance group 515
3.8	Improvements in the field of emission surveillance of in-use vehicles with gasoline engines 516
3.8.1	Comparison of the initial target with the actually achieved emission levels 516
3.8.2	Possibilities for surveillance testing improvements 517
3.8.2.1	Idle testing 518
3.8.2.2	Testing with constant engine load ("Key Mode") 520
3.8.2.3	Simplified testing with driving sequence ("short test") 520
3.8.2.4	Functional test 521
3.8.3	Proposals by the advisory group 521
3.8.4	Economical consequences of the recommendations by the advisory group 522
3.8.4.1	Costs of extended idle testing 523
3.8.4.2	Costs of "Key Mode" testing 523
3.8.4.3	Costs of spot check testing 524
3.9	Chronological summary of the Swedish emission control legislation for passenger cars 525
4.	Investigations and programs of official parties 526
4.1	Determination of emission levels of uncontrolled vehicles ("baseline studies") 526
4.2	Measuring HC- and CO-emissions in idle and for engine warm-up conditions 528
4.3	Checking the reproducibility of idle-CO adjustments 529
4.4	Investigations about the influence of alterations to the emission control system of passenger cars on the vehicle's emission characteristics 530
5.	Surveillance testing of in-use vehicles with gasoline engines from model year 1971 to 1976 in Barkaby and Studsvik 532
5.1	Results and consequences of surveillance testing programs 532
5.2	Periodic inspections at "AB Svensk Bilprovning" 533
6.	Outlook and projections for the years 1980 to 2000 537
6.1	Economic growth and vehicle use 537
6.2	Projections up to the year 2000 538
6.3	Demands to the vehicle 539
6.4	Conclusions 539
6.5	Short-term regulatory consequences for the Swedish emission control legislation 541

<u>Part VII:</u>	<u>Efforts and Problems for the Automobile Manufacturer for the Certification, Production and Operation of Passenger Cars with Gasoline- and Diesel Engines under the Swedish Exhaust Emission Control Legislation</u>	
1.	Introduction	545
2.	The Swedish vehicle homologation and certification procedures	546
2.1	Homologation on car-by-car basis ("Registerbesekning")	546
2.2	Homologation by means of a sample car ("Typbesekning")	547
2.3	Periodic inspections	549
3.	The Swedish emission certification procedures	550
3.1	The emission certification procedure for passenger cars with gasoline engines up to model year 1975	551
3.2	The emission certification procedure for passenger cars with gasoline engines as of model year 1976	551
4.	Sanctions, audits, recalls	553
5.	Changes in requirements and responsibilities for the automobile manufacturer in connection with furtheration of the Swedish emission control legislation	553
5.1	Changes in the periodic inspection program	554
5.2	Changes in the certification procedure	555
5.2.1	Objectives of the system proposed by Eric O. Stork for the future Swedish emission control legislations	556
5.2.2	Practicability of the Stork proposals	557
5.2.3	Consequences of an application of the Stork proposals for the automobile industry	558
5.2.4	Consequences of an application of the Stork proposals for the car owner	559
5.2.5	Economical/legal consequences of an application of the Stork proposals	560
 Part VIII		
	Outlook	561
	Literature	567
	Appendix	
	Abbreviations an Explanation of Terms	607
	Acknowledgements	615
	Curriculum	617

---

## TEIL I

### Einleitung

•

### Zielsetzung

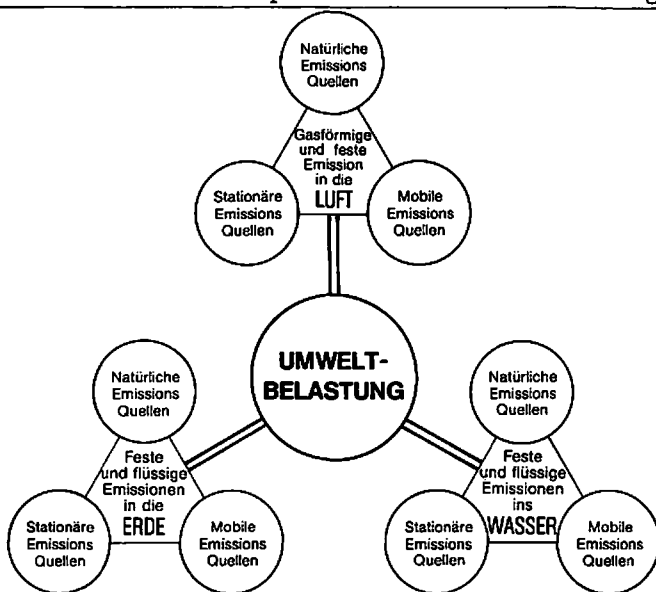
•

## Übergeordnete Zusammenhänge

### 1. Einleitung und Zielsetzung

Unsere Umwelt unterliegt Belastungen, die einerseits ihren unvermeidlichen Ursprung in den natürlichen Vorgängen selbst haben, die jedoch andererseits vom Menschen mehr oder weniger vermeidbar hinzugefügt werden. Wie Bild I.1-1 zeigt, verursacht der Mensch Umweltstörungen mit stationären und mobilen Emissionsquellen, die Wasser und Boden durch feste und flüssige Schadstoffe verunreinigen sowie die Atmosphäre mit festen und gasförmigen Emissionen belasten. Ein vollständiges Vermeiden dieser zusätzlichen Emissionen läßt sich nicht realisieren. Es muß jedoch versucht werden, die Beeinträchtigung unserer Umwelt und damit die Belastung der darin lebenden Menschen auf ein unschädliches Maß zu reduzieren.

Von den in Bild I.1-1 gezeigten umweltbeeinflussenden Faktoren wurde Ende der 50er Jahre in Kalifornien die mobile Emissionsquelle "Kraftfahrzeug" als Verursacher hoher lokaler Luftqualitätsverschlechterungen in den Blickpunkt der Öffentlichkeit ge-



**Bild I.1-1:** Die Belastung der Umwelt durch verschiedene Emissionsquellen

rückt. Seither hat sich weltweit ein System gesetzlicher Vorschriften zur Begrenzung und Absenkung der durch Automobile emittierten Schadstoffe entwickelt, das heute in der Vielfalt seiner Grenzwerte, Testbedingungen und Verfahrensdetails kaum noch überschaubar ist. Die Komplexität und Uneinheitlichkeit dieser Vorschriften in den verschiedenen Ländern hat nicht nur große technische und administrative Probleme sowohl auf Behörden- wie auf Industrie- und Wirtschaftspolitischen Aspekten gravierende Auswirkungen gehabt.

Es ist daher das Ziel der vorliegenden Arbeit, Inhalt und Konsequenzen dieser – in automobilgeschichtlich jüngster Zeit für den Pkw und seinen Motor erstmals zum Entwicklungskriterium gewordenen – gesetzlichen Forderungen zur Emissionsbegrenzung zu untersuchen. Dazu gilt es zunächst, die historische Entwicklung der Emissionskontrollgesetzgebung zu erarbeiten und Ziele, Zielkonflikte und Zielverzichte beim Einsatz der behördlichen Maßnahmen aufzuzeigen.

Den am Beispiel der Exportländer USA, Japan und Schweden hergeleiteten gesetzgeberischen Aktivitäten ist dann der seitens der Automobilindustrie zur Erfüllung der entsprechenden Vorschriften betriebene finanzielle, technische und organisatorische Aufwand gegenüberzustellen. Dieser Vergleich soll auch die Problematik der Interaktion der beteiligten wirtschaftspolitischen Akteure Staat (Umweltschutzbehörde), Produzent (Automobilindustrie) und Konsument (Autobesitzer) unter den gegebenen Randbedingungen des heutigen und künftigen sozialen und wirtschaftlichen Umfeldes ansprechen.

Da Mercedes-Benz Personenkraftwagen in fast allen Ländern mit Emissionskontrollgesetzgebung vertreten sind, werden die industrieseitigen Anstrengungen hauptsächlich am Beispiel der Daimler-Benz AG im Detail diskutiert und einige – bei dem Bemühen zur Erfüllung der für die Zulassung, die Produktion und den Betrieb von Pkw gültigen Vorschriften auftretende – Schwierigkeiten aus Sicht dieses Herstellers kritisch betrachtet.

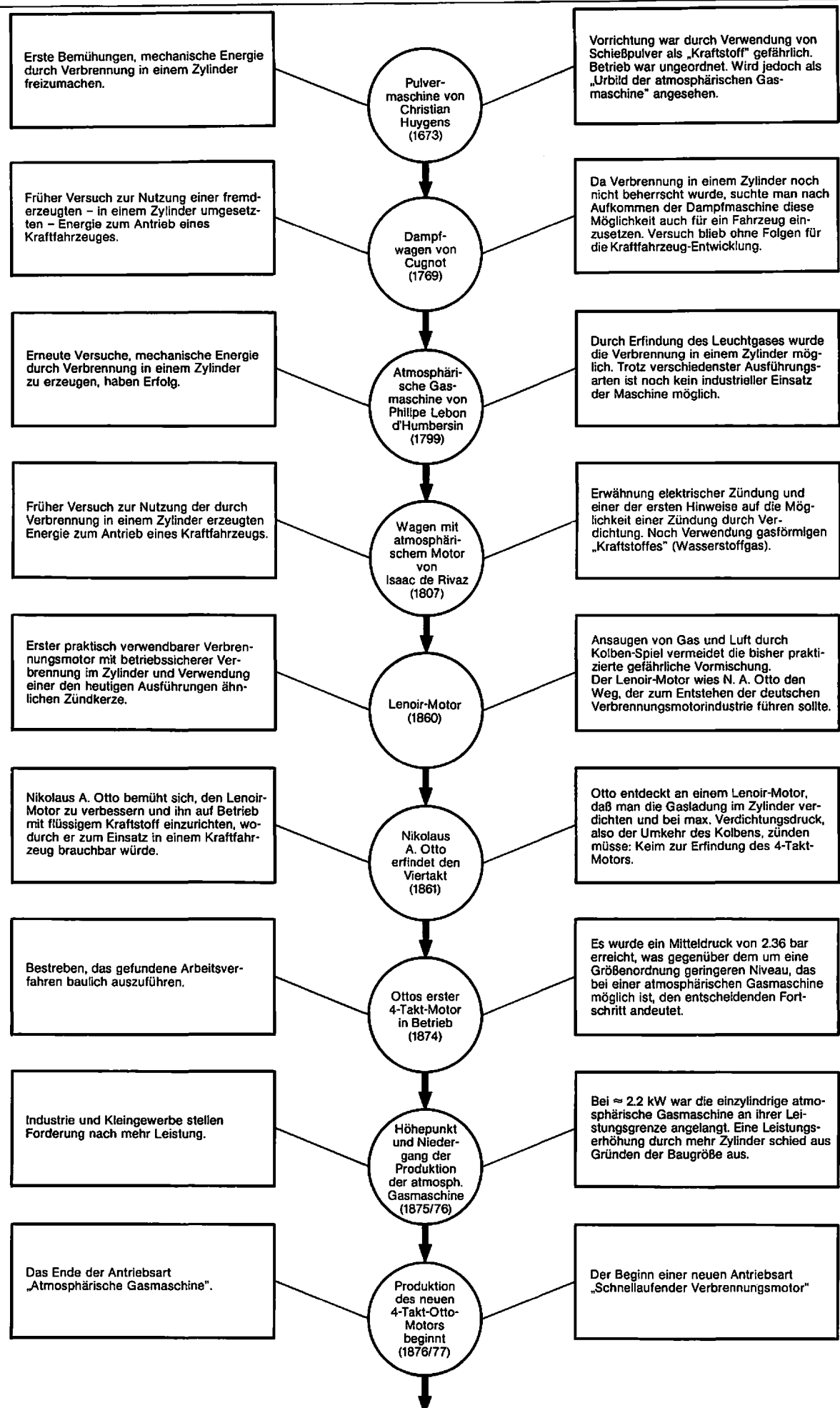
## 2. Übergeordnete Zusammenhänge

Bevor jedoch die heutigen an ein Automobil und sein Triebwerk gestellten vielseitigen Anforderungen unter den speziellen Aspekten gesetzgeberischer Auflagen zur Emissionskontrolle behandelt sowie Aufwand und Grenzen bei der Erfüllung dieser Forderungen aufgezeigt werden, sollen ein kurzer historischer Rückblick auf die Entwicklung des Verbrennungsmotors sowie weitere vergleichende Betrachtungen übergeordnete Zusammenhänge veranschaulichen.

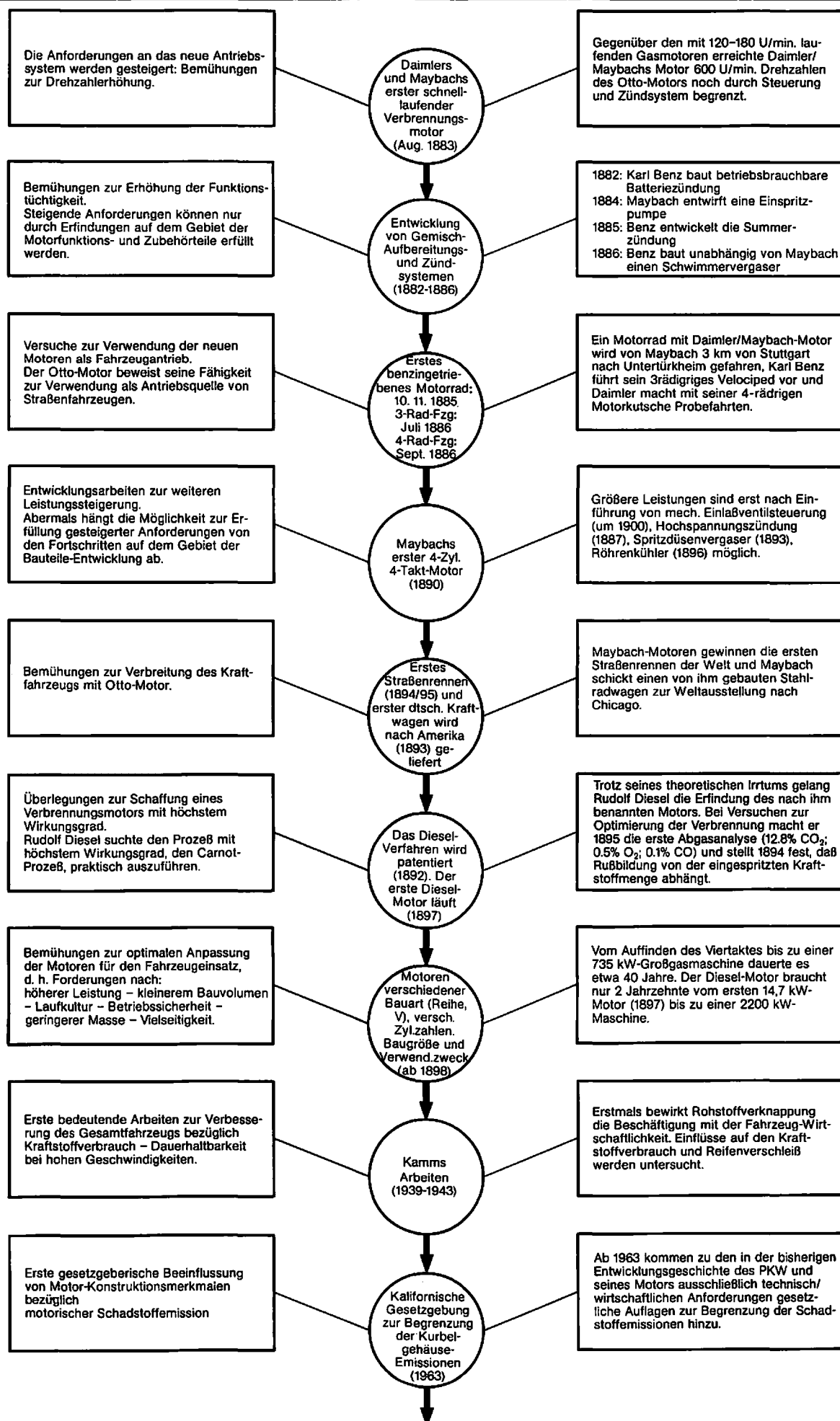
### 2.1 Geschichtliche Entwicklung der Anforderungen an den Pkw und seinen Motor

Im Fortschreiten der Lebensgeschichte der heutigen Pkw-Antriebe, die beim Otto-Motor vor knapp über 100 Jahren und beim Diesel-Motor vor etwas mehr als 80 Jahren begann, wurden an diese beiden Aggregate ständig erweiterte Anforderungen gestellt. Diese Forderungen – die Tempo und Grad der technischen Weiterentwicklung bestimmten – bezogen sich nur kurzzeitig auf das Triebwerk allein: Schon rund 10 Jahre nach der Erfindung des Otto-Motors fuhren die ersten benzinmotorgetriebenen Fahrzeuge auf der Straße, und von diesem Zeitpunkt an richtete sich die motortechnische Weiterentwicklung speziell nach den für den Einsatz im Kraftfahrzeug zu erfüllenden Bedingungen.

Unter Verwendung der Quellen {11 bis 28} wurden die Anforderungen an den Otto- und Diesel-Motor beim Einsatz in Personenkraftwagen im Zusammenhang mit der daraus entstandenen Entwicklungsgeschichte beider Antriebsarten dargestellt: Hierbei war es



**Bild I.2-1:** Von den Anfängen bis zur Produktion des 4-Takt-Otto-Motors, dargestellt unter Verwendung von Angaben in [11].



**Bild I.2-2: Vom ersten schnelllaufenden Verbrennungsmotor bis zum Beginn der Emissionskontroll-Gesetzgebung, dargestellt unter Verwendung von Angaben in [11 bis 28].**

zur Herleitung einer dieser Entwicklungsgeschichte zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeit notwendig, etwas tiefer in die historischen Abläufe einzudringen. So beschreibt Bild I.2-1 zunächst den Zeitraum von den ersten Bemühungen, mechanische Energie durch Verbrennung in einem Zylinder freizumachen bis zum Produktionsbeginn des 4-Takt Otto-Motors. Bild I.2-2 stellt fortführend den Werdegang der Anforderungen an den schnellaufenden Verbrennungsmotor bis zum Erscheinen der ersten gesetzlichen Auflage zur Emissionsbegrenzung dar.

Jahr	Gemischbildung	Jahr	Kraftstoffverdampfung
1924	Ansaugunterdruck und Vergasung bei Automotoren (2)	1926	Kraftstoffverdampfung und Gemischzündfähigkeit (60)
1926/27	Kraftstoffzerstäubung in Vergasern (4, 6)	1927	Vergleich Vorwärmung Saugleitung-Ansaugluft (62)
1936	Vergleich Einspritzung - Vergaser (16)	1930	Bedeutung der Kraftstoffsiedekurve (65)
1941	Verbesserung Wirtschaftlichkeit (Verringerung von CO) (20)	1933	Dampfbildung im Straßentest (66)
1951	Flüssiggas als Kraftstoff (25, 103)	1951	Verdunstung aus dem Kraftstofftank (100, 101)
1959	Verbrauchssenkung und Verminderung von HC (39)	1958	Vergaser-Verdampfungsverluste (137)
Jahr	Verbrennungsablauf	Jahr	Kraftstoffeinspritzung
1910/13	Flammgeschwindigkeit, Brennraum, Mehrfachzündung (990, 991)	1931	Vergleich Einspritzung - Vergaser (Verbrauch) (261)
1929	NO <sub>x</sub> -Emission aus Kerzennähe (1026)	1932	Ladungsschichtung durch Einspritzung (265)
1932	Abgaszusammensetzung Kraftstoff/Luft-Gemische (1047)	1938	Einspritzung z. B. in Vorkammer (281)
1935	Brennraumwand und Katalysator bei HC-Verbrennung (1070)	1955/57	Kraftstoffabstopfung im Schub (HC-Senkung) (319, 333)
1936	Oxidation von Kohlenwasserstoffen (1073)	1955	Einfluß Lufttemperatur/Luftdruck auf $\lambda$ (321)
1937	Flammenausbreitung-Einflußgrößen (1087)	1956	Einspritzung und OZ-Bedarf (327)
Jahr	Zündung	Jahr	Gemischverteilung und -Vorwärmung
1914	Zündenergie für verschiedene Kohlenwasserstoffe (794)	1924/25	Kondensation an Saugrohrwandungen (179)
1915	Zündung, Elektrodenabstand, Ionisation (795)	1927	Heißpunktheizung und Abreißkanten (183)
1926	Zündung bei Zugabe von Abgas zum Brenngas (811)	1927	Ansauglufttemperaturvorwärmung (238)
1936	Flammenfortpflanzung (824)	1932	Abgasanalyse und Gemischverteilung (192)
1938	Mehrfachzündung zur Verbrauchsverbesserung (833)	1938	Abgasrückführung durch Ventilüberschneidung (186)
1948	Einfluß Elektrodenform auf Zündenergie (849)	1944	Gemischverteilung im Mehrzylindermotor (209)
Jahr	Ursachen unvollkommener Verbrennung Gleichgewicht und Dissoziation	Jahr	Abgaszusammensetzung und Betriebspunkt Messen der Abgaszusammensetzung
1931	Unvollständige Verbrennung durch Quenching (1761)	1922	Probenahme und Analyse von Auto-Abgas (1851)
1955	Flammenfotografie, HC abhängig von $\lambda$ (1764)	1943	Geruchsprobleme von Otto-Motoren-Abgas (1854)
1957	HC im Abgas (Schiebebetrieb und Quenching) (1768, 1769)	1957	Bleipartikeln im Autoabgas (1861)
1925	Abgaszusammensetzung im Straßenversuch (1777)	1958/59	Fahrzeuge im Verkehr, Wartung, Abgas (1863, 1864)
1935	Abgaszusammensetzung bei Dissoziation (1783)	1960	Senkung der Kurbelgehäuse-Emission (1867)
1935	NO <sub>2</sub> -Entstehung im Motor (1784)	1922	CO <sub>2</sub> -Messung im Straßenversuch (1889, 1890)
Jahr	Einfluß von $\lambda$ auf Verbrauch und Abgas	Jahr	Beseitigung unerwünschter Abgasbestandteile
1921	Fahrversuche mit Abgassammlung (1807)	1937	CO-Senkung durch Abmagen und Alkohol (1922)
1922	Vergasereinstellung mittels CO-Messung (1808)	1954	Verbrennungsmotor und Luftverunreinigung (1923)
1927	Abgasanalyse und Kraftstoffumsetzung (1809)	1955	HC- und CO-Senkung, Maßnahmen am Vergaser (1924)
1960	Kraftstoffart und HC im Abgas (1833)	1959	Bleifilterung vor katalytischer Abgasbehandlung (1942)
1961	Stickstoffverbindungen und Verbrennungsablauf (1836)	1960	Thermische Nachverbrennung; Katalytische Brennraumbeschichtung (1947)
1962	Benzpyren im Abgas und aus dem Kurbelgehäuse (1837)	1962	Übersicht NO <sub>x</sub> -Kontrollmaßnahmen (1959)

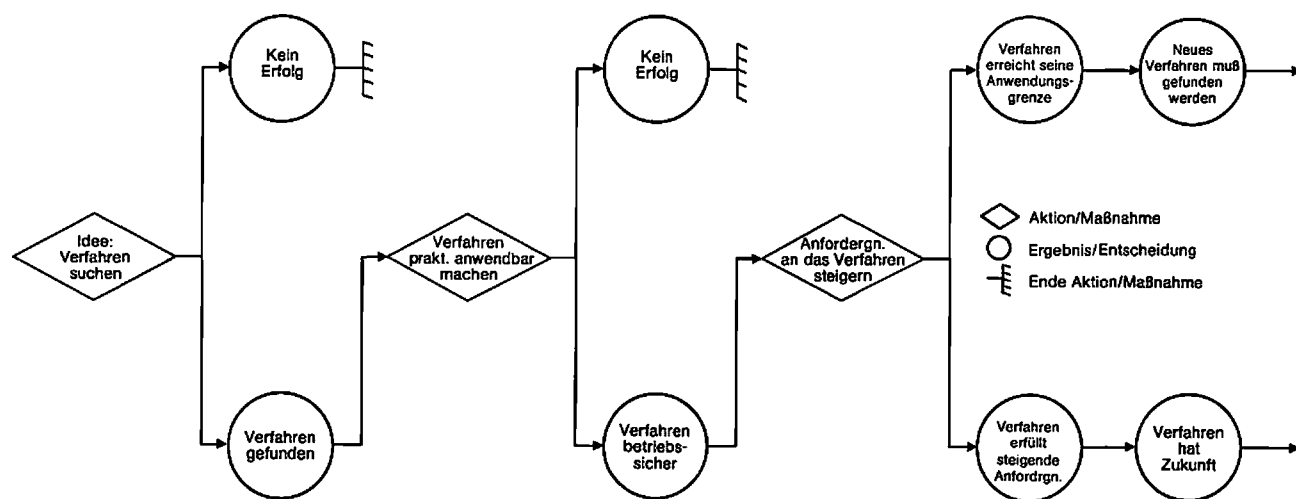
**Bild I.2-3:** Frühe Literatur über verbrauchs- und emissionsrelevante Themen beim Otto-Motor, nach [29]. Die in ( ) angegebenen Zahlen bezeichnen entsprechende Arbeiten in [29].

Die Übersichten zeigen einerseits, daß bestimmte - heute wieder aktuelle - Entwicklungsgedanken der Geschichte nicht neu sind: So machte Nicolaus Joseph Cugnot bereits 1769 Probefahrten mit einem von ihm gebauten Dampfwagen, das Prinzip der Gasturbine und Wassereinspritzung wurde 1791 von John Barber erstmals vorgeschlagen, Rudolf Diesel führte schon 1895 eine Abgasanalyse zur Beurteilung der Verbrennungsgüte durch und Wunibald Kamm behandelte 1938 ausgiebig Themen wie Roll- und Luftwiderstand sowie Einflüsse auf den Kraftstoffverbrauch. Auch sind schon in früherer Literatur (d. h. ehe es zum ersten emissionsbezogenen gesetzgeberischen Eingriff in die Entwicklungsgeschichte des Pkw-Motors kam) Themen behandelt, die in späteren Jahren mit gesetzlich erzwungenen Bemühungen zur Emissionsverringerung wieder interessant wurden. Beispiele solcher Themen wurden einer Bibliografie über Arbeiten bezüglich Gemischbildung, Verbrennung und Abgas im Otto-Motor {29} entnommen und sind in Bild I.2-3 zusammengefaßt.

Darüber hinaus lassen die Bilder I.2-1 und I.2-2 den prinzipiellen Werdegang technischer Entwicklungen erkennen, der in Bild I.2-4 noch einmal verdeutlicht ist.

Diesen Weg von der Idee über eine erste praktische Ausführung, über die anschließende Anpassung an ständig steigende Anforderungen mit jeweiliger Optimierung bis zum Erreichen der Anwendbarkeitsgrenze und nachfolgenden Ablösung durch ein neues Verfahren durchliefen in der Vergangenheit sowohl die Huygens'sche Pulvermaschine wie auch der Dampfwagen von Cugnot und der atmosphärische Motor von Lenoir.

In diesem Zusammenhang wird die nachfolgende Arbeit auch zeigen, ob Otto- und Diesel-Motor aufgrund des nach rund 300 Jahren - in denen sich die Entwicklungsgeschichte dieser Antriebsverfahren fast ausnahmslos an rein technischen Gesichtspunkten orientiert hat - neu eingeleiteten Zeitabschnitts, der durch behördlich begrenzte oder geforderte Technik und Technologie gekennzeichnet ist, die letzte Stufe dieses Ablaufs ebenfalls erreicht haben.



**Bild I.2-4:** Prinzipieller Werdegang technischer Entwicklungen



## 2.2 Betrachtungen zur Luftqualität

Die behördlichen Auflagen entstanden, um die von Kraftfahrzeugen verursachte Belastung der Atmosphäre zu verringern und - besonders in Gebieten hoher Bevölkerungsdichte - eine annehmbare Luftqualität zu erreichen. Ehe auf die von der mobilen Emissionsquelle Kraftfahrzeug, und hier insbesondere auf die vom Pkw verursachten Luftverunreinigungen näher eingegangen wird, seien kurz der globale und lokale Beitrag dieser Quellen betrachtet sowie Ansätze zur Bewertung ihres Schadstoffausstoßes diskutiert.

### 2.2.1 Die globale Emissionsbelastung der Atmosphäre

Die Atmosphäre unserer Erde, die sich aus den in Bild I.2-5 genannten - und in Bild I.2-6 im Verhältnis ihrer auftretenden Volumenanteile dargestellten - Gasen zusammensetzt, bewegt sich durch die Schwerkraft gebunden in komplexen Vorgängen um den

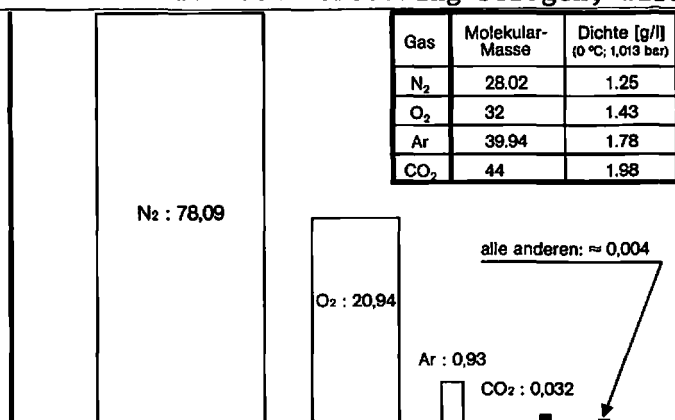
Gas Name	chem. Zeich.	Konzentration (Moleküle/cm <sup>3</sup> )	Gas Name	chem. Zeich.	Konzentration (Moleküle/cm <sup>3</sup> )
Stickstoff	N <sub>2</sub>	21 · 10 <sup>18</sup>	Wasserstoff	H <sub>2</sub>	13 · 10 <sup>12</sup>
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	5.6 · 10 <sup>18</sup>	Distickstoffmonoxid	N <sub>2</sub> O	13 · 10 <sup>12</sup>
Argon	Ar	0.25 · 10 <sup>18</sup>	Ammoniak	NH <sub>3</sub>	5.4 · 10 <sup>12</sup>
Wasser	H <sub>2</sub> O	0.53 · 10 <sup>18</sup>	Xenon	Xe	2.3 · 10 <sup>12</sup>
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	8.5 · 10 <sup>15</sup>	Ozon	O <sub>3</sub>	1.5 · 10 <sup>12</sup>
Neon	Ne	0.49 · 10 <sup>15</sup>	Stickoxid	NO	0.67 · 10 <sup>12</sup>
Helium	He	0.11 · 10 <sup>15</sup>	Stickstoffdioxid	NO <sub>2</sub>	0.54 · 10 <sup>12</sup>
Methan	CH <sub>4</sub>	54 · 10 <sup>12</sup>	Sauerstoff (einemolekular)	O	0.27 · 10 <sup>12</sup>
Kohlenmonoxid	CO	53 · 10 <sup>12</sup>	Feststoffe *) *) davon 85% < 2 µm ø mit einer Konzentration von 10 <sup>9</sup> /m <sup>3</sup>	—	0.71 · 10 <sup>15</sup>
Krypton	Kr	30 · 10 <sup>12</sup>			
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	27 · 10 <sup>12</sup>			

Erdball. Sie besitzt an der Erdoberfläche ihre höchste Dichte, die dann mit der Höhe schnell abnimmt. Obwohl Spurengase noch bis in Höhen von 9.600 m mit der Erde rotieren, sind mehr als 50 % der atmosphärischen Masse unter 6 km und mehr als 99 % unterhalb 30 km Höhe konzentriert. Im Vergleich zum Erddurch-

**Bild I.2-5:** Typische Zusammensetzung der Umgebungsluft (63% rel. Feuchte, 25 °C), nach [30].

mosphäre somit nur eine hauchdünne Schicht, wie es im Bild I.2-7 veranschaulicht ist.

Auf molekulare Zusammensetzung bezogen, wird die Atmosphäre in die zwei Hauptregionen Homosphäre und Heterosphäre eingeteilt. Die Homosphäre erstreckt sich bis ≈ 90 km Höhe und ist wegen der darin dauernd auftretenden Turbulenzen durch Einheitlichkeit der Zusammensetzung gekennzeichnet. Sie wird oft - auf trockener Basis - als Einzelgas mit bestimmten physikalischen Eigenschaften behandelt. Wenn man die Luft mit einer Dichte von

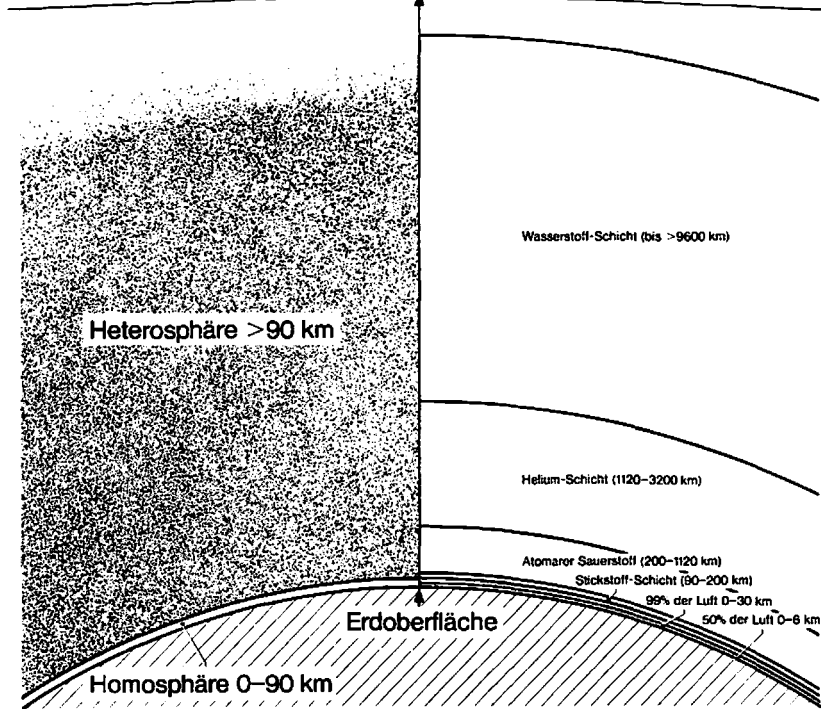


**Bild I.2-6:** Volumenanteile und Stoffeigenschaften der atmosphärischen Gase (in trockener Luft), nach [31].

messer bildet die Atmosphäre somit nur eine hauchdünne Schicht, wie es im Bild I.2-7 veranschaulicht ist.

1,293 g/l (bei 0 °C und 1,013 bar) als einheitliches Gas annimmt, kann man ihr eine "mittlere Molekularmasse" von  $1,293 \cdot 22,4 = 29$  zuordnen. Diese Molekularmasse nimmt jedoch über 80 km Höhe stark ab und beträgt in 640 km Höhe nur noch 16,8. An der Erdoberfläche führt die Anwesenheit von Wasserdampf, der bei obigen Normbedingungen eine Molekularmasse von 18,02 hat, zu einer geringeren Molekularmasse der Luft.

Die Heterosphäre hat sich wegen Schwerkraft und geringer Durchmischung mit den unteren Luftschichten sowie durch die noch vorliegende Intensität der Sonnenstrahlung höherer Energie in vier zu unterscheidende Schichten verwandelt: Die unterste Schicht, zwischen 90 und 200 km Höhe, zeigt ein Übergewicht an molekularem Stickstoff. Zwischen

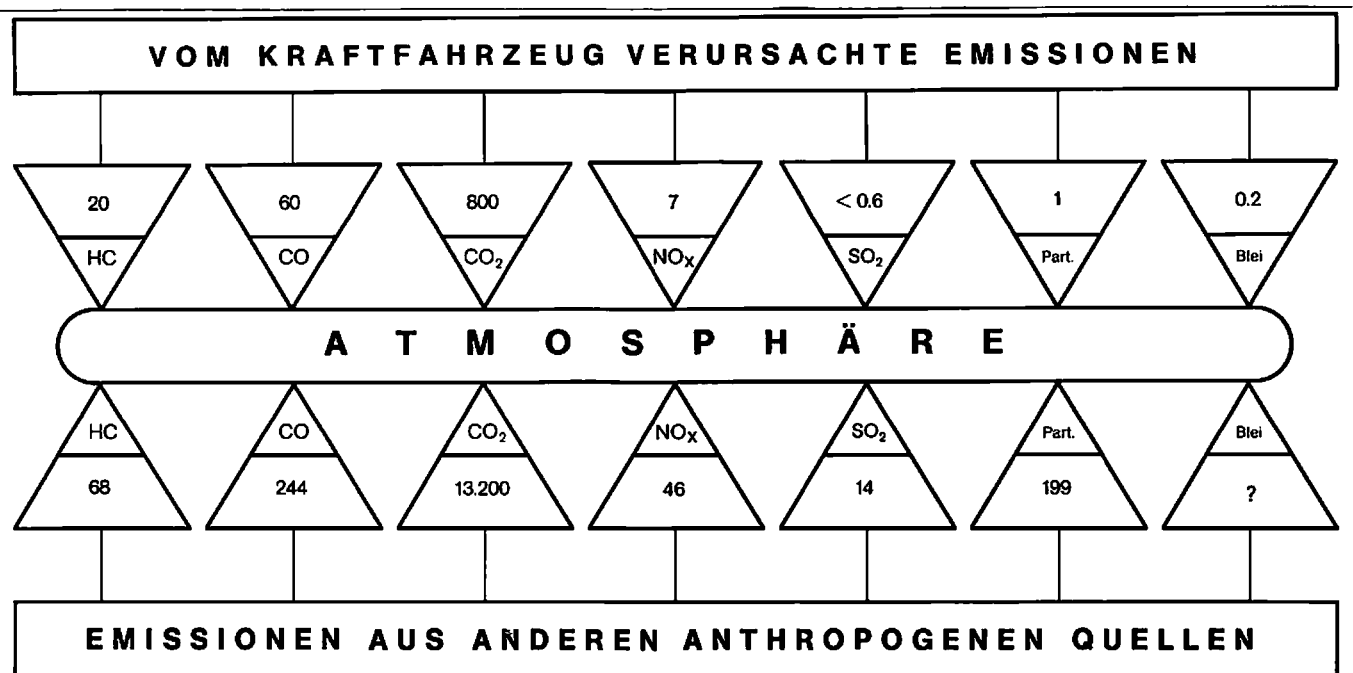


200 und 1.120 km lagert atomarer Sauerstoff, gefolgt von einer heliumangereicherten Schicht, die sich bis 3.200 km Höhe erstreckt. Die vierte Schicht besteht aus Wasserstoff und reicht bis über 9.600 km Höhe hinaus. Obwohl die Heterosphäre nur weniger als 0,01 % der Atmosphärenmasse enthält, ist sie für das Leben auf der Erde von größter Bedeutung: Sie filtert die energiereiche Sonnenstrahlung heraus, die sonst alles Leben auf der Erde zerstören würde.

Bild I.2-7: Aufteilung der Atmosphäre, nach [32].

Emission	Emissionsquelle		Emissionsquelle (10 <sup>6</sup> t/Jahr)		Normalkonz. in der Atmosphäre (ppb)	Berechnete Verweilzeit in der Atmosphäre	Auflösungsreaktionen und Emissionssinken	Bemerkungen
	anthropogen	natürlich	anthropogen	natürlich				
HC	Abgase von Verbrennungs- und chem. Prozessen	Biologische Prozesse	80 bis 90	90 bis 480 exkl. CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> 1.500	CH <sub>4</sub> 4 - 16 Jahre	Photochemische Reaktionen mit NO/NO <sub>2</sub> und O <sub>3</sub> . CH <sub>4</sub> benötigt starke Emissions-Senke	„Reaktive“ Emissionen aus anthropogenen Quellen: 27 · 10 <sup>6</sup> t/Jahr
CO	Abgase von Automobilen und aus anderen Verbrennungsprozessen	Waldbrände, Weltmeere Oxidation von CH <sub>4</sub> (5 · 10 <sup>6</sup> )	220-304	60 – 5.000	100	< 3 Jahre	Evtl. Organismen im Erdboden, evtl. in den Ozeanen, evtl. Reaktionen in der Stratosphäre mit OH	Evtl. nicht so reaktionsträge wie bisher angenommen. Beitrag der Ozeane zu den natürlichen Emissionen wahrscheinlich gering ) neuere Messungen [43] nennen: (3000 bis 640 200) · 10 <sup>6</sup> t/Jahr
CO <sub>2</sub>	Verbrennungsprozesse	Biologische Verfallsprozesse, Weltmeere	10 <sup>4</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>12</sup>	330	2 - 4 Jahre	Biologische Adsorption und Photosynthese, Absorption in den Weltmeeren	Atmosphärische Konzentrationen nehmen um 0,7 ppm/Jahr zu. (Zu Zeiten starken Phytoplanktonblühens können die Ozeane zu CO <sub>2</sub> -Quellen werden)
NO <sub>x</sub>	Verbrennungsprozesse	Wirken von Bakterien im Erdboden	45 -53	450-500	0.5 – 5	4 - 5 Tage	Oxidation zu Nitrat nach Aufnahme durch feste und flüssige Aerosole; Photochemische Reaktionen	Sehr wenig Unterlagen über die NO/NO <sub>2</sub> -Entstehung aus natürlichen Prozessen verfügbar
SO <sub>2</sub>	Verbrennung von Kohle und Öl	Vulkane	60 - 147	40	0.2 - 4	1 - 4 Tage	Oxidation zu Sulfat durch Ozon oder nach Aufnahme durch feste und flüssige Aerosole	Photochemische Reaktionen mit NO <sub>2</sub> und HC ist evtl. erforderlich, um eine schnelle Transformation von SO <sub>2</sub> · SO <sub>3</sub> zu erreichen. Evtl. sind heterogene Reaktionen mit Metalloxiden von Bedeutung
NH <sub>3</sub>	Abfall-Behandlung	Biologische Verfallsprozesse	4 - 4.2	1.160 – 5.900	6 - 20	5 - 7 Tage	Reaktion mit SO <sub>2</sub> zu (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; Oxidation zu Nitrat	Bildung von Ammoniaksalzen ist Haupt-Emissionssenke. Keine quantitative Umsetzungsrate NH <sub>3</sub> · NO <sub>3</sub> (scheint vorherrschender Prozeß in der Atmosphäre zu sein)

Bild I.2-8: Quellen, Konzentrationen und Hauptreaktionen von Gasen in der Atmosphäre, nach [33 bis 35, 41 bis 43].



**Bild I.2-9:** Belastung der Atmosphäre durch Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr und anderen anthropogenen Quellen (10<sup>6</sup> t/Jahr), nach [33, 34, 35, 41, 42].

Die im vorangegangenen kurz charakterisierten atmosphärischen Schichten werden durch natürliche und vom Menschen verursachte Prozesse auf der Erdoberfläche beeinflusst. Bild I.2-8 stellt die natürlichen und vom Menschen verursachten Prozesse einander gegenüber und vergleicht die aus diesen beiden Quellen stammenden Emissionen quantitativ. Bild I.2-9 führt diesen quantitativen Vergleich speziell für die aus dem Kraftfahrzeugverkehr und den aus sonstigen vom Menschen verursachten Quellen stammenden Emissionen durch. Bild I.2-10 gibt darüber hinaus noch einige Erläuterungen zu den obengenannten – im Rahmen dieser Arbeit interessierenden – Produkten von Verbrennungsvorgängen.

### 2.2.2 Die lokale Emissionsbelastung der Atmosphäre

Wie in Kap. 2.2.1 gezeigt wurde, stellen die vom Menschen verursachten Emissionen *global* gesehen nur Bruchteile der natürlichen Emissionen dar, wobei sie bei den meisten Schadstoffen sogar um mehrere Größenordnungen niedriger liegen. Selbst wenn man diesen massenbezogenen Vergleich nur zwischen dem Kraftfahrzeugverkehr und den sonstigen vom Menschen verursachten Quellen anstellt, liegen die Emissionen der übrigen Quellen um ein mehrfaches über denen des Automobils.

Die Situation kann sich jedoch völlig umkehren, wenn Emissionen aus Automotoren *lokal* betrachtet werden. Hier kann das Kraftfahrzeug zum Hauptemittenten werden und durch seinen Schadstoffausstoß zur Überschreitung des zulässigen Luftqualitäts-Grenzwertes führen. Die Tatsache, daß Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr nur ein lokales Problem darstellen, hat z. B. in den USA und Australien zu Überlegungen hinsichtlich einer "two car strategy" geführt (danach hätten Fahrzeuge für den Betrieb "auf dem freien Land" nicht mit dem für Stadtfahrzeuge geforderten (aufwendigeren) Emissionskontrollsystem ausgerüstet zu sein brauchen).

Produkt aus Verbrennungsvorgang	Entstehung – Eigenschaften – Reaktionen
<b>Kohlendioxid</b> (CO <sub>2</sub> )  Zum Thema „CO <sub>2</sub> und Atmosphäre“ siehe besonders: Bach, W. et al. [36 bis 40]	<p>Im allgemeinen nicht als luftverunreinigender Stoff angesehen, da nicht giftig. In der Atmosphäre sind <math>\approx 2 \cdot 10^{12}</math> t, in den Ozeanen weitere <math>\approx 140 \cdot 10^{12}</math> t CO<sub>2</sub> gespeichert. Seit dem späten 19. Jahrhundert wurden der Luft <math>\approx 0,18 \cdot 10^{12}</math> t CO<sub>2</sub> durch die stark gestiegene Verwendung fossiler Brennstoffe hinzugefügt, was <math>\approx 10\%</math> der heute in der Atmosphäre vorhandenen Masse ausmacht. Jährlich kommen weltweit durch Kraftstoffverbrennung <math>\approx 15 \cdot 10^9</math> t hinzu. Seit der Jahrhundertwende 1800/1900 mit der heute als „base-line“ angenommenen atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration von 290 ppm stieg dieser Wert auf heute 320 ppm an (Steigerungsrate heute: <math>\approx 1</math> ppm/Jahr). Hochrechnung auf das Jahr 2000 ergibt eine fast 300%ige Steigerung gegenüber 1955. Von 1929 bis 1969 weltweite CO<sub>2</sub>-Produktion fast verdreifacht. CO<sub>2</sub> absorbiert sehr stark Strahlung aus seiner Umgebung (es fängt die von der Erde weggehende langwellige Strahlung ab) und trägt damit zu einer Erwärmung der Atmosphäre bei (Treibhaus-Effekt). Eine 10%ige CO<sub>2</sub>-Erhöhung kann eine Erwärmung der Atmosphäre um <math>0,2 \dots 0,3</math> °C bedeuten. (Eine Steigerung der Reflexionseigenschaften der Atmosphäre, hervorgerufen z. B. durch Anstieg der Masse von schwebenden Partikeln oder durch Zunahme von Wolkenschichten könnte den Treibhaus-Effekt des CO<sub>2</sub> ausgleichen.) Leichte Temperaturerhöhung der Weltmeere würde auch die Ozeane zu einer CO<sub>2</sub>-Quelle machen. Die jährlich durch die Biosphäre zirkulierende CO<sub>2</sub>-Masse bildet einen wichtigen Bestandteil des pflanzlichen und tierischen Lebenszyklus. Hierbei halten sich die zur Photosynthese (Umwandlung von CO<sub>2</sub> zu Chlorophyll unter Freisetzung von O<sub>2</sub>) durch Pflanzen verbrauchte CO<sub>2</sub>-Masse von jährlich <math>\approx 54 \cdot 10^9</math> t mit der bei Atmungsvorgängen und pflanzlichen Verfallsprozessen entstehenden Masse etwa das Gleichgewicht. Weitere natürliche primäre CO<sub>2</sub>-Quellen: Waldbrände und Vulkane (jedoch nur <math>\approx 5\%</math> der durch den Menschen verursachten Masse). Schwer abschätzbar sind die in der Natur stattfindenden Sekundär-Emissionen wie z. B. die Methan- und Formaldehydoxidation zu CO und Weiterumsetzung zu CO<sub>2</sub> mit Umsetzungsrate von 2 Jahren oder weniger.</p>
<b>Kohlenmonoxid</b> (CO)	<p>Farb-, geruchs- und geschmackloses Gas. Etwas leichter als Luft (1,25 g/l bei 0 °C und 1,013 bar. Produkt unvollständiger Verbrennung von Kohlenstoff und seinen Verbindungen. Verbrennung fossiler Kraftstoffe erzeugt größere Massen CO als alle anderen „künstlichen“ Emissionen zusammen. Auch natürliche Quellen emittieren enorme CO-Massen, die mit bis zu <math>640 \cdot 10^9</math> t/Jahr weit über den durch „künstliche“ Prozesse entstehenden Massen von <math>(190 \dots 640) \cdot 10^6</math> t/Jahr liegen. Natürliche Hauptquelle in photochemischer Oxidation von CH<sub>4</sub> durch ein OH-Radikal vermutet. Zusätzliche natürliche CO-Quelle: Chlorophyll-Zersetzung im Herbst (<math>0,2 \dots 0,5 \cdot 10^4</math> t/Jahr) Vulkane, Naturgas, Waldbrände, Wirken von Bakterien in den Weltmeeren ergeben weitere <math>0,15 \cdot 10^9</math> t/Jahr.</p>
<b>Kohlenwasserstoffe</b> (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )	<p>An sich in der Luft geringe Toxizität. Werden aber photochemisch aktiv bei Anwesenheit von Sonnenlicht und Stickoxiden. Bilden dann photochemische Oxidantien (z. B. Ozon). Mögliche Zahl der Kohlenwasserstoffe sehr groß, Erfassung nur durch Sensibilität und Selektivität der Analysenmethode begrenzt. Einteilung in 4 Haupt-Funktionstypen: Alkane (Paraffine), Alkene (Olefine), Alkine und Aromaten. CH<sub>4</sub> sehr geringe photochemische Aktivität, daher bei Gesamt-HC-Messung oft separat bestimmt und nicht bewertet. Ebenfalls unbegrenzte Zahl von mit Sauerstoff verbundenen Kohlenwasserstoffen. Einteilung in Alkohole, Phenole, Ether, Aldehyde, Ketone, Ester, Peroxide und organische Säuren. Die meisten Primäremissionen werden mit dem Automobil in Zusammenhang gebracht, wobei Aldehyde den größten Anteil stellen. Viele Verbindungen werden auch als Zweitprodukte bei photochemischen Reaktionen gebildet.</p>
<b>Schwefeldioxide</b> (SO <sub>x</sub> )	<p>Bei Verbrennungsprozessen durch Umsetzung des im Kraftstoff enthaltenen Schwefels gebildet. Schwefel ist in Kohle zu 6% und in Öl bis zu 4,5% enthalten. Bei Verbrennung entweichen <math>\approx 90\%</math> dieses Schwefels als Schwefeloxide, wobei SO<sub>2</sub> mit <math>\approx 99\%</math> und SO<sub>3</sub> mit <math>\approx 0,5 \dots 2\%</math> vertreten sind. SO<sub>3</sub> bildet mit H<sub>2</sub>O rasch Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), die aufgrund ihres niedrigen Taupunktes schnell ein Aerosol oder Nebeltröpfchen bildet. SO<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> treten somit gemeinsam mit Dunst oder schlechter Sicht auf. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) ist ein farbloses, durchdringend und unangenehm riechendes Gas. Ab <math>0,3 \dots 1</math> ppm auch geschmacklich feststellbar. Sehr wasserlöslich (11,3 g/100 ml im Gegensatz zu <math>0,169</math> g/ml bei CO<sub>2</sub>). Bildet die schwach-schweflige Säure H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. SO<sub>2</sub> oxidiert in klarer Luft langsam zu SO<sub>3</sub>. Es oxidiert schneller durch atmosphärischen O<sub>2</sub> in wässrigen Aerosolen. Schwermetall-Ionen in Lösung beschleunigen die Reaktion, die anhält, wenn die Aerosole „sauer“ werden. Atmosphärischer NH<sub>3</sub> neutralisiert die Säure und es entsteht Ammoniak-Sulfat, das allgemein in atmosphärischen Partikeln gefunden wird. In nebliger Luft und in Gegenwart von NO<sub>x</sub>, HC und Partikeln reagiert SO<sub>2</sub> wesentlich schneller. Heute ist SO<sub>2</sub> eine der hauptsächlichen Luftverunreinigungen. Seine weltweiten Emissionen haben sich von 1900 <math>\dots</math> 1965 vervielfacht. Steigerung auf <math>275 \cdot 10^6</math> t/Jahr für das Jahr 2000 erwartet. Hiervon verursachen dampf-elektrische Kraftwerke <math>\approx 70\%</math> und andere Industrien <math>\approx 18\%</math>. Volle Schädlichkeit von SO<sub>2</sub> eventuell erst nach Reaktion mit anderen Bestandteilen in der Luft.</p>
<b>Stickoxide</b> (NO <sub>x</sub> )	<p>In der atmosphärischen Luft kommen folgende Oxide des Stickstoffs vor: N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sowie zwei seiner Hydrate: HNO<sub>2</sub> und HNO<sub>3</sub>. Nur N<sub>2</sub>O, NO und NO<sub>2</sub> in wesentlicher Größenordnung. NO und NO<sub>2</sub> oft zusammen in der Luft analysiert und allgemein „Stickoxide“ (NO<sub>x</sub>) genannt. 90 <math>\dots</math> 95% aller NO<sub>x</sub> werden als NO, der Rest als NO<sub>2</sub> emittiert. Stickoxid (NO) ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Entsteht in der Natur durch biologische Vorgänge und Verbrennungsprozesse (auch in Silos). An der Luft wird es schnell durch atmosphärisches Ozon und photochemische Prozesse sowie etwas langsamer durch Sauerstoff in NO<sub>2</sub> verwandelt. Vom Menschen hauptsächlich durch Kraftstoffverbrennung in stationären und mobilen Quellen (z. B. Automobil) erzeugt. Unter hohen Verbrennungstemperaturen bildet Stickstoff mit Sauerstoff Stickoxid: <math>N_2 + O_2 = 2 NO</math> (endotherme Reaktion von links nach rechts bei hohen Temperaturen, bei niedrigen Temperaturen Gleichgewicht fast völlig links, aber extrem langsame Zersetzungsrate von NO. Daraus folgt, daß die emittierte NO-Menge eine Funktion der Flammenstruktur und Temperatur wie auch der Abkühlungsrate des Brenngemisches ist. Bei schneller Abkühlung (Automobilmotor) bleibt NO-Konzentration hoch, obwohl sie thermodynamisch instabil ist. In Abgasen, in denen hauptsächlich höhere Konzentrationen und Temperaturen vorkommen, wird einiges NO zu NO<sub>2</sub> oxidiert, wobei dieser Anteil zwischen 0,5 und 10% des anwesenden NO schwankt. In einer verunreinigten Atmosphäre wird NO hauptsächlich durch photochemische Zweitreaktionen zu NO<sub>2</sub> oxidiert. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) ist ein rötlich-braunes Gas mit stechend/reizendem Geruch. Natürliche Emissionen entstehen hauptsächlich durch biologischen Zerfall, wenn Nitrate zu Nitriten reduziert, zu nitrosen Säure HNO<sub>2</sub> umgewandelt, zu N<sub>2</sub>O zersetzt und zu NO<sub>2</sub> oxidiert werden. NO<sub>2</sub> ist einer der unangenehmsten Stoffe. Es ist ein sehr korrosives Gas, stellt aber vor allem eine „Energiefalle“ dar, indem es Sonnenlicht absorbiert, um Stickoxid und atomaren Sauerstoff zu bilden: <math>NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O</math>. Der atomare Sauerstoff ist sehr reaktiv in der Ozon-Bildung und verursacht eine Reihe nachfolgender photochemischer Kettenreaktionen. NO<sub>2</sub> absorbiert sichtbares Licht stark im Bereich von gelb und blau. Eine vertikale Luftschicht von 1,6 km Dicke mit 0,1 ppm NO<sub>2</sub>-Gehalt reduziert das den Erdboden erreichende UV-Licht um mehr als 25%. Horizontal gesehen verringert eine 16 km tiefe Luftzone gleicher Konzentration blaues und UV-Licht um mehr als 90%. Die gelb-braune Dunstglocke, die oft über Stadtgebieten liegt, entsteht zum großen Teil aufgrund von NO<sub>2</sub> und den durch NO<sub>2</sub> begünstigten Aerosolen.</p>
<b>Ammoniak</b> (NH <sub>3</sub> )	<p>Wird als relativ unwichtige Luftverunreinigung angesehen. Enorme Mengen entstehen in der Natur durch bakterielle Zersetzung von Aminosäuren in organische Verfallsprodukte. NH<sub>3</sub> hat scharfen Geruch und 20 ppb können auch geschmacklich festgestellt werden. Bei den in der Luft vorliegenden Konzentrationen sind keine schädlichen Wirkungen bekannt.</p>
<b>Feststoffe</b> (Partikeln)	<p>Englisch: „particulate matter“ bezeichnet jedes Material (außer ungebundenes Wasser) das bei Normbedingungen in fein verteilter Form als Festkörper (Asche und/oder Kohlenstoff aus unvollständiger Verbrennung) oder Flüssigkeit (un- oder teilverbrannte Kraftstofftröpfchen), wie im „US-Federal Register“ vom 17. 8. 1971 definiert. Hidy und Brock glauben, daß die Hälfte der in der Troposphäre vorliegenden Aerosole aus Zweitquellen, d. h. aus chemischen Reaktionen in der Gasphase (z. B. durch Umwandlung von SO<sub>2</sub> in Sulfatpartikeln) stammen. Die meisten vom Menschen erzeugten Partikeln werden bald durch Schwerkraft und Regen wieder aus der Atmosphäre entfernt (Verweilzeiten Minuten bis Tage, Mittelwert 10 Tage). Staubemissionen aus Landwirtschaft und Rauchentwicklung bei der Verbrennung pflanzlicher Produkte verursachen um eine Größenordnung höhere Partikelemissionen als Industrieprozesse. Feinste Partikeln (<math>&lt; 2 \mu m \phi</math>) werden durch Konvektion in höhere Luftschichten getragen, wo auch Flugzeugabgase eine Rolle spielen. Feine Partikeln (<math>&lt; 100 \mu m \phi</math>) brechen als Feststoffe Licht gemäß den physikalischen Gesetzen über Wellenlänge und Partikelgröße. Als Darsteller großer Oberflächen können sie als Katalysator für sonst langsam ablaufende Interaktionen zwischen adsorbierten Luftverunreinigungen wirken. Als Gesamtheit bestimmen sie zu einem großen Teil die Kondensation und das Zusammenwachsen anderer Partikeln und Gase. Als chemische Spezies per se bedeuten einige von ihnen hohe Giftigkeit für pflanzliches oder tierisches Leben oder sind korrosiv für Metalle und andere Materialien. Als reiner Staub verunreinigen sie durch Niederschlag und elektrostatische Anziehung Kleidung, Körper, Gebäude etc. und bilden so eine Belästigung. Sie können ankommende kurzwellige Sonnenstrahlung zerstreuen, wobei ein geringer Prozentsatz dieser Streustrahlung in den Weltraum zurückgeht. Falls Wolken fehlen, bedeutet dies einen Energieverlust für die Erde. Durch Absorption ankommender Strahlung aus dem Weltraum erwärmen sie die entsprechenden Luftschichten, wodurch abermals ein Energieverlust entsteht. Somit können zunehmende Staubschichten in hohen Lagen über der Atmosphäre (bei unveränderter Wolkensituation) zum Abkühlen der Erde führen. Größere Partikeln (<math>&gt; 100 \mu m \phi</math>) bedeuten auch die zuvor genannten Probleme, aber in wesentlich vermindertem Umfang, da ihre Masse zu schnellem Absinken führt, anatomische Abwehrmechanismen ein Eindringen in menschliche oder tierische Lungen verhindern, und weil die gleiche Masse Schadstoff in solch großen Einheiten weit weniger Möglichkeiten für Interaktionen in der verunreinigten Luft bietet. Ihr optischer Verschmutzungseffekt ist jedoch größer, da sie bereits kurz nach Verlassen der Quelle niedergeschlagen werden.</p>

**Bild I.2–10:** Entstehung, Eigenschaften und Reaktionen von Produkten aus natürlichen und vom Menschen verursachten Prozessen, die im Zusammenhang mit den Emissionen aus dem Verbrennungsvorgang in Automotoren relevant sind, nach [35 bis 40].

### 2.2.3 Bewertung der Emissionsbelastung

Die im Rahmen dieser Arbeit diskutierten gasförmigen- und Feststoffemissionen können, um den Anteil des Kraftfahrzeugs an der Gesamt-Luftverunreinigung zu ermitteln, nach den Kriterien:

- Konzentration
- Masse
- Schädlichkeit

beurteilt werden. Bei der Bewertung von Aussagen zur Umweltbelastung ist es wichtig, prozentuale Aussagen auf richtiger und einheitlicher Basis zu vergleichen.

*Konzentrationsangaben* stellen Meßgrößen dar und sind für Ingenieur, Arzt oder Umweltschutzbehörde Hilfsmittel, mit denen direkt gearbeitet werden kann, da sie die lokale Gefährdung oder Umweltbelastung klar definieren. Daher sind auch alle Luftqualitätsstandards auf Konzentrationsbasis (plus Zeitfaktor) aufgebaut, wie z. B. die MAK-, MIK- und Immissionsgrenzwerte.

Die MAK (maximale Arbeitsplatzkonzentration)-Werte sind diejenigen Schadstoffkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz, die auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich 8stündiger Einwirkung im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigen. Die MIK (maximale Immissionskonzentration)-Werte geben diejenigen Konzentrationen von festen, flüssigen und gasförmigen Luftverunreinigungen an, unterhalb derer nach dem heutigen Wissensstand Menschen (insbesondere Kinder, Alte und Kranke), Tiere, Pflanzen und Sachgüter geschützt sind. Sie sind weit schärfer gefaßt als die entsprechenden MAK-Werte. Weil sowohl akute als auch chronische Schadwirkungen berücksichtigt werden müssen, werden sowohl Lang- als auch Kurzzeitwerte angegeben. Immissionsgrenzwerte sind gesetzlich festgelegte pragmatische Werte, bei deren Ermittlung neben der schädlichen Wirkung auf Mensch, Tier und Pflanze auch die belästigende Wirkung und ökonomische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Die Immissionsgrenzwerte beruhen zwar auf den MIK-Werten, weichen aber zum Teil von diesen ab.

*Massenangaben* stellen Rechengrößen dar und können bei globaler oder großflächiger Betrachtungsweise als Vergleichsmaßstab für die Emissionen verschiedener Quellen dienen. Wie in Kap. 2.2.1 die Emissionen von Kraftfahrzeugen mit denen von sonstigen "künstlichen" und diese wiederum mit denen der natürlichen Quellen auf Massenbasis verglichen wurden, so ergibt eine ähnliche Massenemissionsbetrachtung auf den Großraum Bundesrepublik Deutschland bezogen, daß im Jahre 1970 die verschiedenen Verursacher gemäß Bild I.2-11 beteiligt waren. Bei dieser Bewertungsart liegt der Anteil des Verkehrs mit 52 % deutlich vor den Beiträgen der übrigen Verursacher (Kraftwerke 17 %; Industrie 13 %; Haushalte und Kleingewerbe 19 %).

Wesentlich anders wird die Aussage bereits, wenn man kleinere Räume betrachtet. So wurde z. B. in Köln mit Hilfe eines Emissions-Katasters die Feststellung gemacht,

Emission [10 <sup>6</sup> t]	SO <sub>2</sub>	Staub	NO <sub>x</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	CO
Stromerzeugung	1,6	0,2	0,5	0,01	0,01
Industrie	1,1	0,15	0,4	0,04	0,08
Haushalte und Kleinverbraucher	0,8	0,4	0,13	0,11	1,2
Verkehr	0,1	0,07	0,3	0,25	6,5
Summe	3,6	0,8	1,3	0,4	7,8
Summe alle [10 <sup>6</sup> t]	13,9	Anteil alle [%]		100	
Summe Verkehr [10 <sup>6</sup> t]	7,22	Anteil Verkehr [%]		52	

**Bild I.2-11:** Brennstoff- und kraftstoffbedingte Schadstoffemissionen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1970, nach [44].

daß hier der Kraftfahrzeugverkehr nur zu 26 % an der gesamten Luftverunreinigung beiträgt (Petrochemie, Raffinerien, Industrie und konventioneller Hausbrand überwiegen bei weitem), während in München der Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs auf 90 % geschätzt wird (Nutzung umweltfreundlicher Fernwärme, geringe emissionssträchtige Industrie im Stadtgebiet) [45].

Ein ähnliches Ergebnis zeigt sich für den Vergleich der Schadstoff-Massenemissionen des Jahres 1968 in den USA. Bild I.2-12 sagt aus, daß das Kraftfahrzeug mit 44 % Anteil bundesweit als größter Luftverschmutzer anzusehen war. Mit höchstem Prozentsatz

Emission [10 <sup>6</sup> t/Jahr]	CO	HC	SO <sub>2</sub> *)	NO <sub>x</sub>	Partikel *)	Summe
Motorfahrzeuge	59,2	15,6	1,0	7,2	1,0	84
Andere	40,9	16,4	25	13,5	11	106,8
Anteil Motorfzge. an jeweil. Emission [%]	59,2	48,8	3,9	34,8	8,3	
Anteil Motorfzge. an Gesamt-Emission [%]						44

**Bild I.2-12:** Anteil der Massenemission von Schadstoffen aus Motorfahrzeugen mit Otto- und Dieselmotoren und anderen Quellen an der Gesamt-emission in den USA als Schätzwerte für 1968 und für 1966\*), nach [46].

eine örtliche Verteilung der genannten Emissionen oder über deren relative Schädlichkeit aus. Damit sind sie im Rahmen von den im Teil II dieser Arbeit näher behandelten Untersuchungen zur lokalen Luftqualitätssituation und deren möglicher Verbesserung nur von begrenzter Bedeutung.

Eine gänzlich andere Aussage ergibt sich, wenn - wie es richtig ist - auf der Basis der *Schädlichkeit* verglichen wird. Wissenschaftler in den USA kamen zu dem Ergebnis, daß unter Zugrundelegung der dort für einzelne Schadstoffe festgelegten Immissionsgrenzwerte bei Dauereinwirkung den einzelnen Emissionen folgende "Schädlichkeits"-Faktoren zugeordnet werden müssen [47]:

CO	:	1	SO <sub>2</sub>	:	120
HC	:	60	Staub-		
NO <sub>x</sub>	:	100	emissionen	:	133

Eine entsprechende Bewertung der kalifornischen Situation im Jahre 1965 führt zu einer Beteiligung des Kraftfahrzeugverkehrs an der gesamten Umweltbelastung von 12 % (auf Massenbasis: 61 %!), wie es in Bild I.2-13 im einzelnen gezeigt ist.

Ein anderes Verfahren der Emissionsbewertung nach Schädlichkeit ist das aus [49] entnommene sogenannte PINDEX-System ("Pollution Index"). Das PINDEX-System berücksichtigt den Beitrag von Partikel-, SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, CO- und HC-Emissionen sowie den Anteil von Oxidantien, von Sonnenstrahlung und des Partikel/SO<sub>x</sub>-Synergismus zur Luft-

Emittent	Auswirkung	Auswirkungen von Schadstoffen auf die Umwelt	
		Basis : Masse [%]	Basis : Schädlichkeit [%]
Kraftfahrzeuge		61	12
Industrie		16	37
Kraftwerke		14	36
Gebäudeheizung		6	10
Müllverbrennung		3	5
Summe		100	100

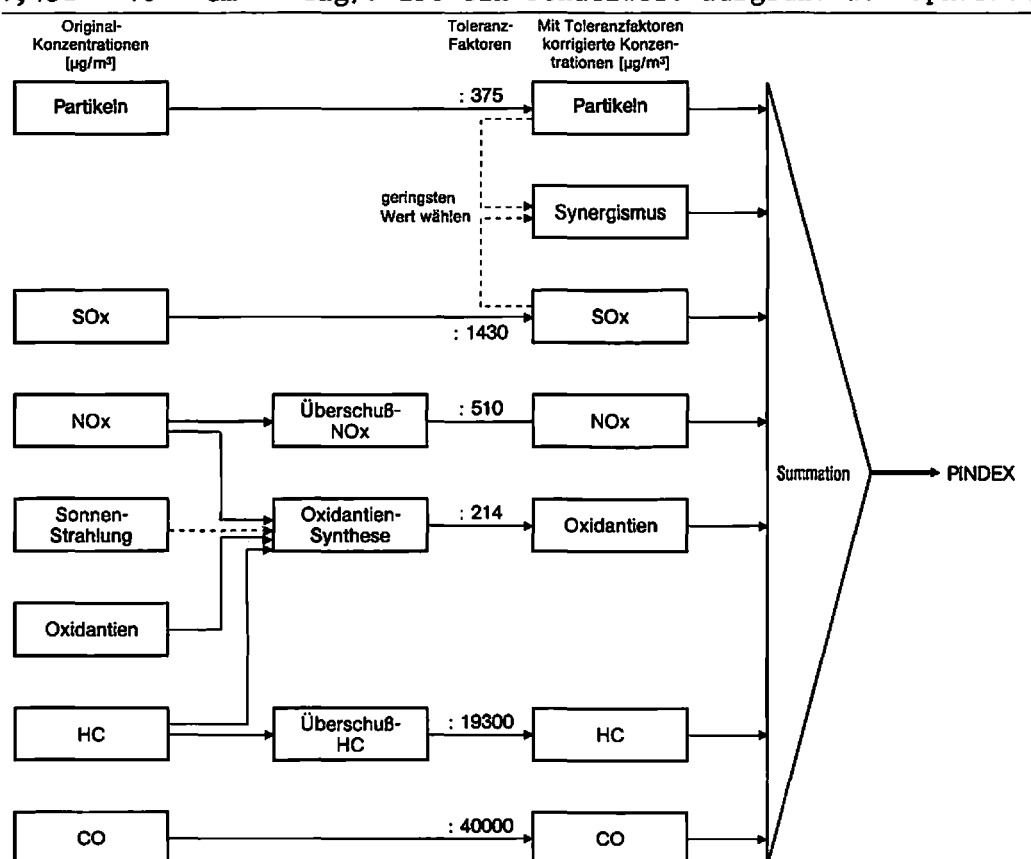
**Bild I.2-13:** Anteile der Emittenten an der Luftverunreinigung in Kalifornien im Jahre 1965, [48].

verunreinigung. Jede Komponente erhält einen Wichtungs- oder Toleranzfaktor, der im PINDEX-System auf Luftqualitätsstandards basiert. Diese Toleranzfaktoren reichen von 214 für Oxidantien (wenig Toleranz) bis zu 40.000 für CO (höchste Toleranz).

Das bedeutet, daß 214 kg Oxidantien die gleiche Gesundheitsgefährdung darstellen wie 40.000 kg CO.

In Bild I.2-14 ist die PINDEX-Methode schematisch dargestellt. Zunächst wird die atmosphärische Konzentration jedes Schadstoffes in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  berechnet. Zusätzlich werden  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  und die Oxidantien in  $\mu\text{mol}/\text{m}^3$  umgerechnet. Für diese Rechnung werden  $\text{HC}$  als Methan,  $\text{NO}_x$  als  $\text{NO}_2$  und Oxidantien als  $\text{O}_3$  angenommen. Als nächstes nimmt man an, daß  $\text{NO}_x$  und  $\text{HC}$  mit Sonnenlicht zusätzliche Oxidantien bilden, wobei davon ausgegangen wird, daß 1 Mol  $\text{HC}$  mit 1 Mol  $\text{NO}_x$  reagiert und 1 Mol Oxidantien bildet. Die Konzentration der entstehenden Oxidantien wird berechnet, indem man die Molarkonzentration ( $\mu\text{mol}/\text{m}^3$ ) des  $\text{NO}_x$  oder der  $\text{HC}$  (je nachdem welches kleiner ist) mit  $1,432 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{Tag}/\text{J}$  ( $6 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{Tag}/\text{cal}$ ) und das Produkt mit der Sonnenbestrahlung ( $\text{J}/\text{cm}^2 \text{ Tag}$ ) multipliziert. Liegt kein gemessener Strahlungswert vor, wird der Mittelwert von  $1570 \text{ J}/\text{cm}^2 \cdot \text{Tag}$  eingesetzt.

Die ursprünglichen  $\text{HC}$ - und  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen werden durch Subtrahieren der zur Oxidantienbildung verwendeten Molanteile korrigiert. Der obengenannte Wert von  $1,432 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{Tag}/\text{J}$  ist ein Schätzwert aufgrund atmosphärischer Daten, der das



beobachtete Gleichgewicht zwischen  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  und Oxidantien berücksichtigt. Als nächstes werden die korrigierten Konzentrationen auf Massensbasis zurückgerechnet und dann durch die Toleranzfaktoren dividiert. Dann erfolgt die Berechnung des Partikel/ $\text{SO}_x$ -Synergismuswertes. Dieser Wert berücksichtigt, daß

**Bild I.2-14:** Schematische Darstellung des PINDEX-Bewertungssystems, nach [49].

Gegebene Daten	$\frac{g}{mol}$	Reaktionspartner umformen	Kleinsten Reaktionspartner suchen (HC oder NO <sub>x</sub> )	Zusätzliche Oxidantien berechnen <sup>1)</sup>	Gesamtoxidantien berechnen und HC sowie NO <sub>x</sub> korrigieren	Auf Massenbasis zurückrechnen	Toleranzfaktoren anwenden	Korrigierte Konzentrat. [ $\mu g/m^3$ ]	Synergismus festlegen
PM = 143 $\frac{\mu g}{m^3}$							: 375	0.381	SO <sub>x</sub> < PM, damit: SO <sub>x</sub> = SYN
SO <sub>x</sub> = 123 $\frac{\mu g}{m^3}$							: 1430	0.086	
NO <sub>x</sub> = 136 $\frac{\mu g}{m^3}$	46	2.96 $\frac{\mu mol}{m^3}$	NO <sub>x</sub> < HC	$0.000 = 1.432 \cdot 10^{-4} \cdot SR \cdot 2.96 = 0.71 \mu mol/m^3$	$-0.71 = 2.25 \frac{\mu mol}{m^3}$	103.5 $\frac{\mu g}{m^3}$	: 514	0.201	
CO = 7250 $\frac{\mu g}{m^3}$							: 40000	0.181	
HC = 2157 $\frac{\mu g}{m^3}$	16	134.81 $\frac{\mu mol}{m^3}$			$-0.71 = 134.10 \frac{\mu mol}{m^3}$	2145.6 $\frac{\mu g}{m^3}$	: 19300	0.111	
OOO = 43.2 $\frac{\mu g}{m^3}$	48	0.90 $\frac{\mu mol}{m^3}$			$+0.71 = 1.61 \frac{\mu mol}{m^3}$	77.3 $\frac{\mu g}{m^3}$	: 214	0.361	
SR = 1676 $\frac{J}{cm^2 \text{ Tag}}$							SYN	0.086	
PINDEX-Bewertung berechnen: $PINDEX = (PM + SO_x + NO_x + CO + HC + OOO + SYN)$									= 1,4
<sup>1)</sup> Faktor $1.432 \cdot 10^{-4} [cm^2 \text{ Tag}/J]$ nach atmosphärischen Daten geschätzt. Berücksichtigt das beobachtete Gleichgewicht zwischen HC, NO <sub>x</sub> und Oxidantien									

**Bild I.2-15:** Emissionsbewertung nach Gesundheitsgefährdung am Beispiel des PINDEX-Bewertungsfaktors mit einem Rechenbeispiel, nach [50].

beide Komponenten, wenn sie zusammen auftreten, gesundheitsschädlicher sind, als wenn jede für sich allein existieren würde. Man nimmt als Wert den kleineren Wert, der sich ergibt, wenn Partikel- oder SO<sub>x</sub>-Emissionen (Massenbasis) durch die Toleranzfaktoren korrigiert werden. Schließlich wird die Summe aus allen Werten, d. h. der sogenannte PINDEX-Bewertungsfaktor gebildet. In Bild I.2-15 ist ein Rechenbeispiel durchgeführt.

Der PINDEX-Bewertungsfaktor ermöglicht - nach Vorliegen von Daten aus Luftqualitätsmessungen - eine Aussage über die auf Gesundheitsgefährdung bezogene Rangfolge der vermessenen Orte. Eine derartige Berechnung quantifiziert den relativen Beitrag einer jeden Schadstoffquelle zur Gesamt-Luftverunreinigung. Wenn man sie auf das in Bild I.2-12 gezeigte Beispiel anwendet, so ergibt sich ein auf Gesundheitseffekte bezogener Beitrag des Automobils zur Luftverschmutzung von < 20 % anstelle der zuvor (auf Massenbasis bezogen) genannten 44 %. Bei einer Betrachtung der Einzelemissionen ist z. B. der Beitrag des CO von 59 % bei Massenbewertung auf 13 % bei Schädlichkeitsbewertung gesunken.

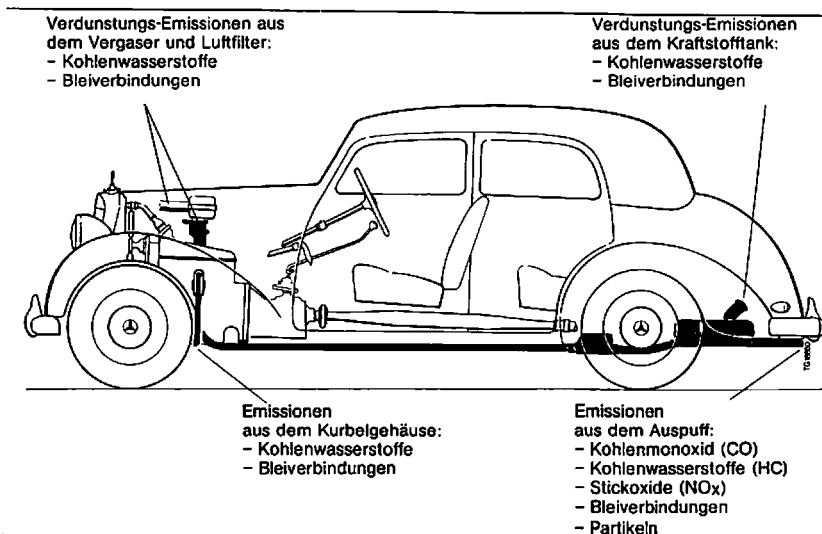
### 2.3 Emissionen eines Pkw mit Otto-Motor

Die im Rahmen dieser Ausarbeitung interessierenden Emissionen eines "ungereinigten" Pkw mit Otto-Motor setzen sich zusammen aus:

- Emissionen aus der Kurbelgehäuse-Entlüftung (Gase, Bleiverbindungen)
- Verdunstungsemissionen aus Tank- sowie Gemischaufbereitungssystem (Gase, Bleiverbindungen)
- Emissionen aus der motorischen Verbrennung (Gase, Bleiverbindungen, Feststoffe)

Die Quellen dieser Luftverunreinigungen sind in Bild I.2-16 veranschaulicht. Weitere durch das Gesamtfahrzeug verursachte Emissionen, wie z. B.





**Bild I.2-16:** Der PKW als mobile Emissionsquelle, dargestellt an den Emissionen eines „ungereinigten“ Fahrzeugs mit Otto-Motor.

- Gummiabrieb der Reifen
- Asbeststaub durch Verschleiß der Bremsbeläge
- Feststoffe durch Erzeugen und Aufwirbeln von Straßenabrieb und Straßenstaub,

die oft ebenfalls behördlicherseits in diesem Zusammenhang genannt sind, sollen hier nicht diskutiert werden.

Nachfolgend werden die Emissionen aus den in Bild I.2-16 genannten Quellen kurz charakteri-

siert, damit die später in Teil III dieser Arbeit diskutierten Emissionskontrollmaßnahmen in Wirkung und Begründung Bezug finden. Hierbei muß im Falle der Kurbelgehäuse- und Verdunstungsemissionen auf Unterlagen aus den Anfängen der Emissionskontrollbemühungen zurückgegriffen werden, da die entsprechenden Emissionen nach 1963 - d. h. nach dem serienmäßigen Einsatz entsprechender Kontrolleinrichtungen - in den USA kaum noch ein Thema von Forschungsarbeiten waren.

### 2.3.1 Emissionen aus dem Kurbelgehäuse

Kurbelgehäusegase entstehen dadurch, daß beim Kompressions- und Expansionshub Gase, bedingt durch Leckstellen, an den Kolbenringen vorbei in das Kurbelgehäuse gelangen. Wäre dieses vollkommen geschlossen, würden sie einen unerwünschten Überdruck erzeugen.

Prüfstelle Emission	GM Kalif.-Zyklus	Volvo ECE-Zyklus	Arbeitsgruppe Studsvik, Schweden		
			konst. Belastung	Kalif.-Zyklus	ECE-Zyklus
Säure	18 bis 19	-	17,8 bis 19,3	18	17,7
CO <sub>2</sub>	1,5 bis 2	1 bis 3,5	1,0 bis 1,7	1,6	2,2
CO	0,1 bis 0,5	0,1 bis 0,9	0,1 bis 0,7	0,35	0,5
HC	0,59 bis 1,19	0,70 bis 0,88	0,59 bis 1,0	0,785	0,780

**Bild I.2-17:** Chemische Zusammensetzung von Kurbelgehäusegasen (Volumenanteile in %), nach [55].

gen. Deshalb muß das Kurbelgehäuse entlüftet werden, was spätestens bis zum Einsatz der entsprechenden Emissionskontrollgesetzgebung dadurch erreicht wurde, daß man die Gase direkt an die Umgebungsluft abführte.

Die Kurbelgehäusegase betragen  $\approx 3\%$  (nach General Motors 2 bis 5 %, in Extremfällen bis zu 10 % [51]) des vom Fahrzeug ausgestoßenen gesamten Abgasvolumens, sie können jedoch damit aufgrund ihrer Zusammensetzung 10 bis 40 % der gesamten HC-Emission des Fahrzeugs verursachen [52, 53, 54]. Ihre Hauptbestandteile sind in Bild I.2-17 wiedergegeben; sie bestehen (außer aus Luft) im wesentlichen aus unverbrannten oder angecrackten Kohlenwasserstoffen des Kraftstoffes und des Schmieröls. Hierzu geben Untersuchungen an, daß 99 % aller in den Kurbelgehäusegasen vorhandenen Kohlenwasserstoffe aus dem Kraftstoff und nur  $\approx 1\%$  aus Verbrennungsgasen stammen [56]. Damit kann gefolgert werden, daß die Zusammensetzung dieser Kohlenwasserstoffe

Komponente	Volumen-Anteil der Kurbelgehäuse-Gase [%] (Gesamt-Fzg. = 100%)
HC-Emission	10 bis 15 } [54]
	20 bis 20 } [54]
	15 bis 30 [53]
	bis 40 [52]
CO-Emission	0.1 bis 1.0 [55]
Gesamt-Volumen	2 bis 5 (10) [51]

**Bild I.2-18:** Anteil der Schadstoffe im Kurbelgehäuse-Gas an der Gesamt-Abgasemission eines Fahrzeuges, nach [51 bis 55]

- im Gegensatz zu den in den Auspuffgasen vorhandenen - direkt der Kraftstoffzusammensetzung entspricht.

Nach europäischen und amerikanischen Untersuchungen liegt der Anteil der Kohlenwasserstoffe in den Kurbelgehäusegasen etwa zwischen 15 und 40 % der gesamten vom Fahrzeug emittierten Kohlenwasserstoffe. Hierbei hat es nach kalifornischen Arbeiten den Anschein, daß diese Kohlenwasserstoffe - wenn man den Gesamt-Olefingehalt betrachtet - nicht so reaktiv und damit nicht so "smogfreundlich" sind wie die aus der Verbrennung stammenden [57]. Wird von

der Gesamt-Olefinmenge jedoch der reaktionsträge Ethen-Anteil abgezogen, verhalten sich die "Blowby-Gase" smogfreundlicher als die Auspuffgase [58]. Bezüglich der CO-Emission liegt der entsprechende Anteil z.B. bei 0,3 %, wenn man 5 % CO-Volumen-gehalt im Abgas und 0,2 bis 0,5 % Volumenanteil CO im Kurbelgehäusegas eines ungereinigten Fahrzeugs zugrunde legt [59]. Diese Anteile sind in Bild I.2-18 noch ein-

Belastung Volumen- strom [l/min]	Straßenlast			Kalif. Zyklus	ECE- Zyklus
	25 km/h	100 km/h	Vollgas		
Volvo (1,8 l)	5	7	25	14,5	13,0

**Bild I.2-19:** Blowbygas-Volumenströme eines mittleren europäischen Motors, nach [60].

mal zusammengefaßt. Bild I.2.19 zeigt die Volumenströme von Kurbelgehäusegasen, die bei verschiedenen Belastungszuständen an einem mittleren europäischen Motor (1,8 l (Volvo) gefunden wurden.

Nach graphischer Auswertung umfangreicher Untersuchungsergebnisse des "California Air Resources Board" (CARB) aus einer 500-Wagen-Studie wurde die in Bild I.2-20 gezeigte Übersicht gewonnen. Bei den Arbeiten des CARB sollte durch Einteilung der Testflotte in verschiedene Hubraumklassen und Variation der Motorbelastungszustände die reale Betriebsemission der kalifornischen Fahrzeugpopulation abgeschätzt werden. Nachtests von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen zeigten, daß sogar die Werte der 10. Dezile noch recht häufig überschritten wurden. In diesem Zusammenhang sei auch auf Teil III, Kap. 2.1.4 verwiesen, wo derartige Dezilen zur Beurteilung der Wirksamkeit von Kontrollsystemen zur Begrenzung der Kurbelgehäuseentlüftung ins Freie herangezogen werden.

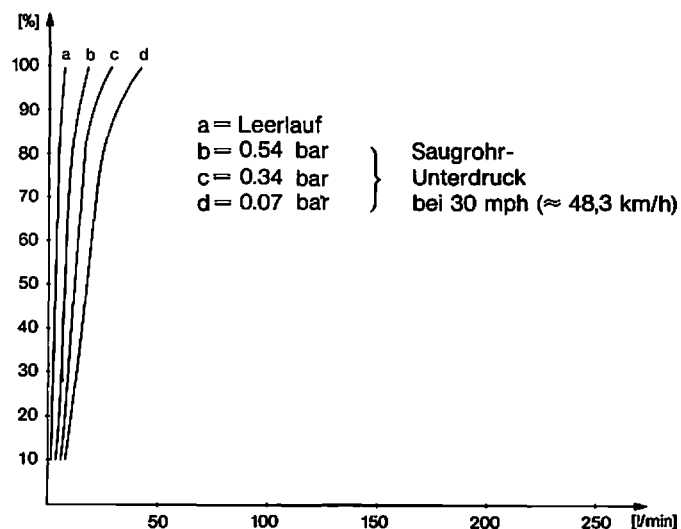
Auf die Entstehung von Kurbelgehäusegasen haben die in Bild I.2.21 gezeigten Para-

Motor-Konstruktion	Motor-Zustand	Motor-Betriebsbedgg.
- Zylinder: Zahl und Durchmesser	- Defekte an Kolben, Ringen und Zylinder	- Belastung
- Kolben- und Kolben-ringspiel	- Verschleiß an Kolben, Ringen und Zylinder	- Drehzahl
- Verdichtungsverh.	- Ablagerungen	- Temperatur

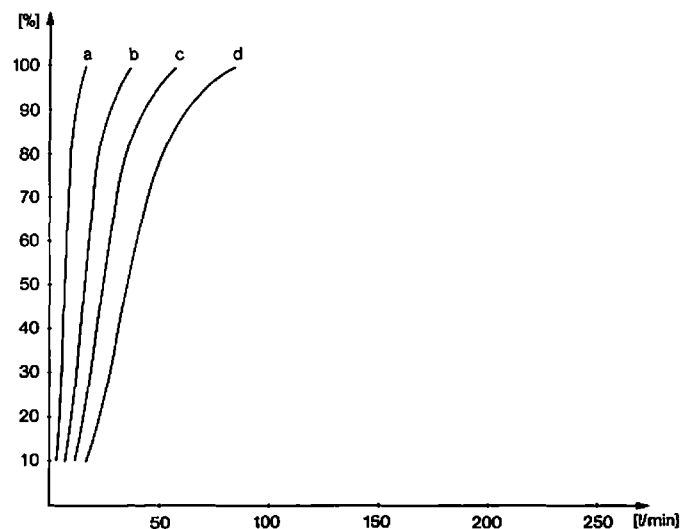
meter Einfluß, wobei durch hohen Verschleiß die Gasvolumina um den Faktor 2 ansteigen können.

**Bild I.2-21:** Einflußgrößen auf die ins Kurbelgehäuse gelangenden Gasvolumina, nach [62].

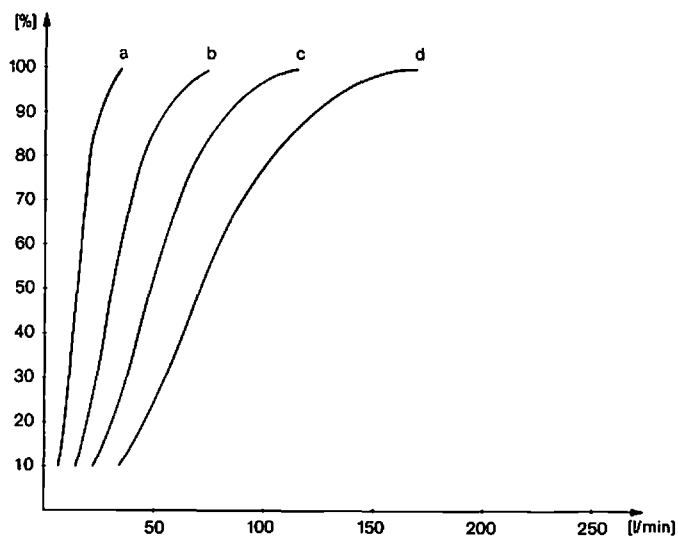
Fahrzeuge < 140 cu. in. (<2294 cm<sup>3</sup>)



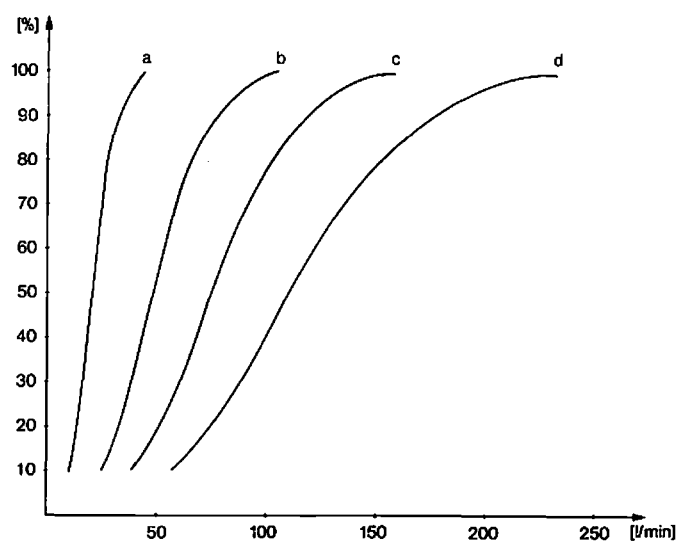
Fahrzeuge 140–200 cu. in. (2294–3277 cm<sup>3</sup>)



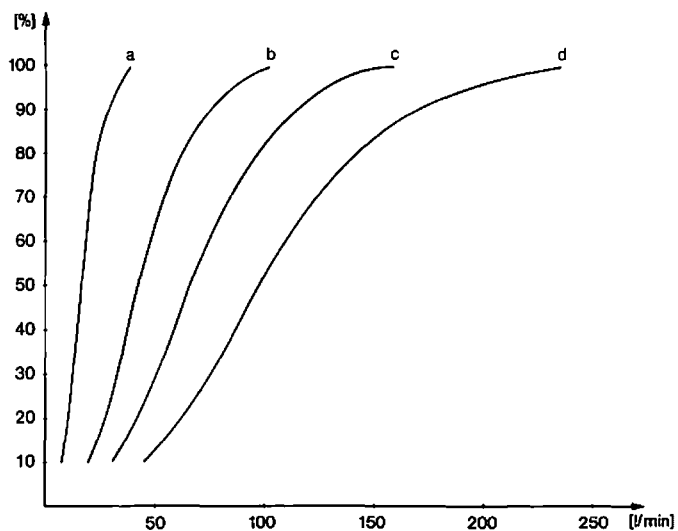
Fahrzeuge 200–250 cu. in. (3277–4097 cm<sup>3</sup>)



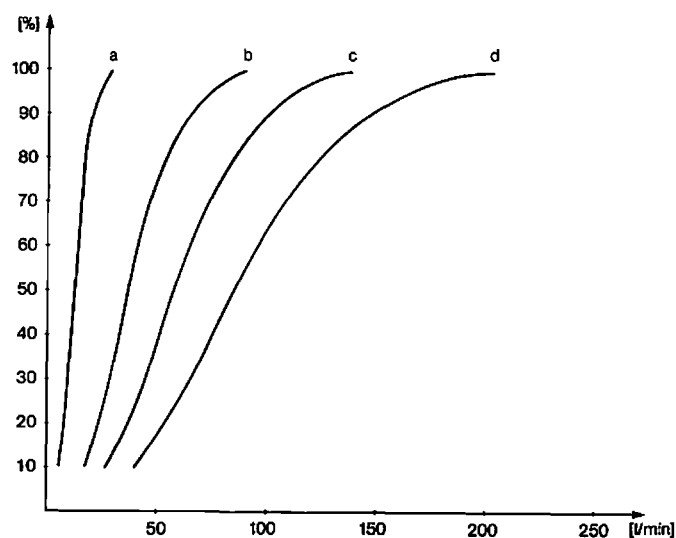
Fahrzeuge 250–300 cu. in. (4097–4916 cm<sup>3</sup>)



Fahrzeuge 300–375 cu. in. (4916–6145 cm<sup>3</sup>)



Fahrzeuge > 375 cu. in. (> 6145 cm<sup>3</sup>)



**Bild I.2–20:** Verteilung der Blowbygas-Volumenströme ungereinigter Fahrzeuge verschiedenen Hubraums bei unterschiedlichen Lastzuständen (500-Wagen-Studie des „California Air Resources Board“ CARB 1962–1963). Umgerechnet und gezeichnet nach Angaben über Populationsdezilen in [61].

### 2.3.2 Verdunstungs-Emissionen

Wie schon in Bild I.2-16 gezeigt, stammen die im wesentlichen aus Kohlenwasserstoffen bestehenden Verdunstungsemissionen eines unbehandelten Pkw aus folgenden Quellen:

- "Background" (z. B. Plastikteile der Innenausstattung)
- Undichtheiten am Vergaser (z. B. Drosselklappen- und Choke-Wellendurchgänge)
- Belüftungsöffnungen am Vergaser (intern und extern)
- Einfüllstutzen des Kraftstofftanks

### 2.3.3 "Background"-Emissionen

Die Background-Kohlenwasserstoff-Emissionen stellen nur in etwa den ersten 3 Lebensmonaten des Fahrzeugs eine beachtenswerte Quelle dar, die in ihrer Höhe abhängig von der Temperatur ist, dem das Fahrzeug ausgesetzt wird [63].

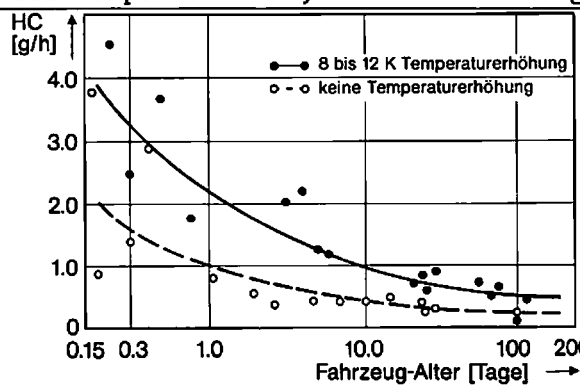


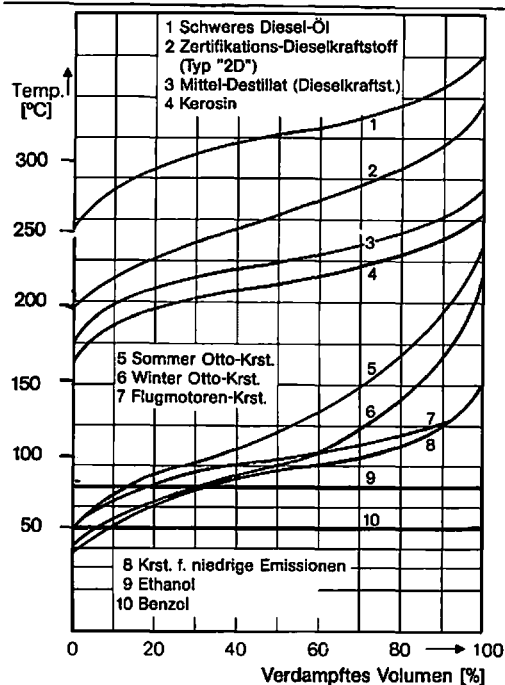
Bild I.2-22: Veränderung der „Background“-Kohlenwasserstoffemissionen bei Fahrzeugalterung unter normalen und künstlich erhöhten Umgebungstemperaturen, nach [63].

Wie in Bild I.2-22 gezeigt, pendelt sich diese Emission danach auf ein Niveau ein, das - zur Veranschaulichung und Relativierung der Größenverhältnisse - z. B. auch von jungen Nadelbäumen bei Sonnenstrahlung emittiert wird (0,2 g/h) [63]. Weitere Background-Emissionen, wie z. B. die vom NEILS ("New England Institute for Life Sciences", USA) im Jahre 1979 erstmals erwähnten Nitrosamine im Fahrgastraum können an dieser Stelle noch nicht diskutiert werden.

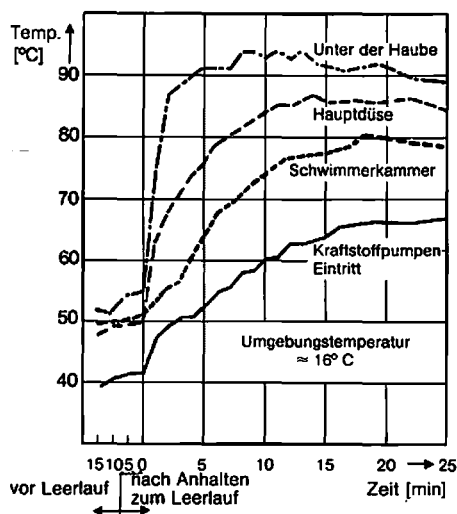
Sie gehören zur Gruppe der "unregulated (d. h. noch nicht limitierten) pollutants", und man hat gerade damit begonnen, Auftreten, Größenordnung und Ursprung dieser Schadstoffe beim Pkw zu erforschen.

### 2.3.4 Emissionen aus dem Vergaser

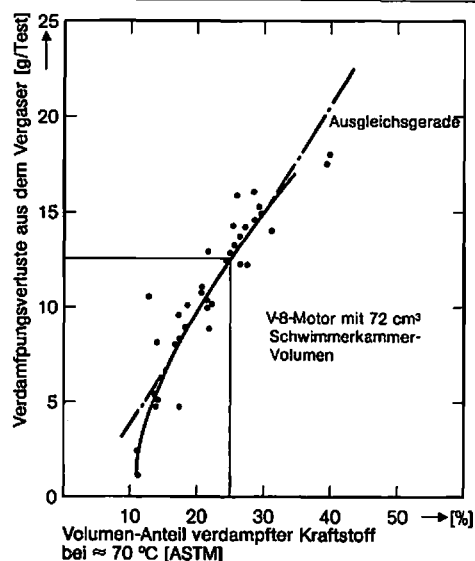
Die Emissionen aus dem Vergaser, die - je nach Dampfdruck des verwendeten Kraftstoffs - etwa 8 bis 20 % der gesamten, vom ungereinigten Fahrzeug emittierten Kohlenwasserstoffe ausmachen können [64], stammen sowohl aus der externen Belüftungsöffnung der Schwimmerkammer (durch die die bei Vergaser- oder Kraftstofferverwärmung auftretende Drucksteigerung durch Kraftstoffverdampfung zwecks Vermeidung von Gemischüberfettung abgebaut wird, und von wo aus  $\approx 75$  % der Verluste direkt in die Atmosphäre entweichen [65]) sowie aus sonstigen Undichtheiten, wie z. B. unter Kap. 2.3.2 genannt. Typische Werte ohne Gegenmaßnahmen sind: 10 bis 30 g im "Kohlefallen-Test" der FTP-72 ("Federal Test Procedure" ab Modelljahr 1972) [66]. Auch die über innere Belüftungsbohrungen entweichenden Kraftstoffdämpfe gelangen zu etwa 50 % in die Atmosphäre ( $\approx 30$  % durch den Luftfilter,  $\approx 20$  % durch den Auspuff [67]). Außer der Kohlenwasserstoffemission in die Atmosphäre verursachen diese Öffnungen Kraftstoffgeruch und Kraftstoffverlust.



**Bild 1.2-23:** Siedekurven (ASTM) verschiedener Kraftstoffe, nach [68].



**Bild 1.2-24:** Erwärmung von Teilen des Kraftstoffsystems nach Heißabstellen des Fahrzeugs, nach [69].

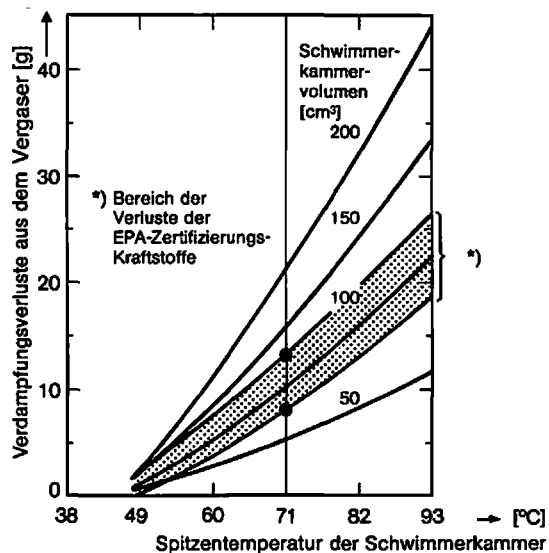


**Bild 1.2-25:** Einfluß der Flüchtigkeit des Kraftstoffes auf die Verdampfungsverluste aus dem Vergaser, nach [70].

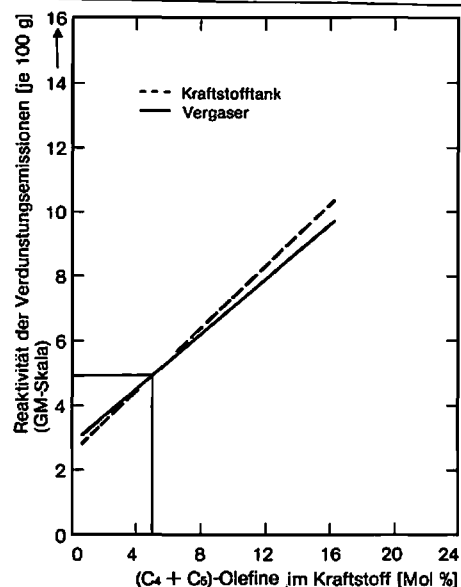
Wie Bild 1.2-23 zeigt, verdampfen z. B. bei 70 °C Kraftstofftemperatur 10 bis 25 % des Kraftstoffvolumens. Im Fahrbetrieb erfolgt Absaugen dieser Dämpfe meist in das Ansaugsystem, beim Heißabstellen gelangen die Dämpfe ins Luftfilter, von wo aus ein großer Teil in die Atmosphäre austritt. Der Kraftstoff im Vergaser erreicht bei warmem Wetter oft Temperaturen > 50 °C und kann beim Heißabstellen sehr schnell auf > 80 °C ansteigen. Bild 1.2-24 zeigt Temperaturanstiege im Kraftstoffsystem bei einem solchen Heißabstellen. Die Einflußfaktoren für die Höhe der Verdampfungsverluste aus dem Vergaser werden in Kap. 2.3.5 noch einmal zusammengefaßt und dabei gleichzeitig den für die entsprechenden Verluste aus dem Tank zuständigen Einflußgrößen gegenüber gestellt.

Im Gegensatz zu den Auspuffemissionen haben Verdampfungsverluste eine Zusammensetzung ähnlich dem unteren Ende der Siedekurve. Ein Beispiel soll die Größe der Verdampfungsverluste und den Einfluß der Kraftstoffzusammensetzung auf die Verdampfungsmenge veranschaulichen: Für einen Schwimmerkammerinhalt von 72 cm<sup>3</sup>, kein Nachlaufen von Kraftstoff nach dem Heißabstellen und einer maximalen Schwimmerkammertemperatur von 70 °C ergibt sich für einen Kraftstoff, der bei 70 °C etwa 25 % (nach ASTM) verdampft hätte, nach Bild 1.2-25 ein Verlust von 12,5 g/Test. Würde ein weniger flüchtiger Kraftstoff verwendet, der z. B. bei 70 °C nur 20 % verdampft, ergäben sich Verluste von 9,7 g/Test entsprechend einer Verringerung von 22 %. Wenn der Einfluß der Größe der Schwimmerkammer linear angenommen wird, kann gefolgert werden, daß eine doppelt so große Kammer die doppelte Masse an Verdampfungsverlusten bringt (Beispiel: nach [70]). In Bild 1.2-26 sind Einfluß von Kammervolumen und maximaler Schwimmerkammertemperatur zusammengefaßt.

Kraftstoffeigenschaften wie Dampfdruck und Zusammensetzung müssen jedoch nicht nur unter dem Gesichtspunkt der emittierten Schadstoffmasse, sondern besonders hinsichtlich ihrer Reaktivität be-



**Bild I.2-26:** Verdampfungsverluste aus dem Vergaser in Abhängigkeit von der Spitztemperatur der Schwimmkammer während 1 h Heißabstellen („hot soak“) mit Zertifizierungskraftstoff, nach [71].



**Bild I.2-27:** Einfluß der Kraftstoffzusammensetzung (C<sub>4</sub>- und C<sub>5</sub>-Olefine) auf die Reaktivität der Verdunstungsemission nach [72].

trachtet werden. Ändert man die Kraftstoffzusammensetzung, ersetzt man z. B. in obigem Beispiel alle C<sub>4</sub>- und C<sub>5</sub>-Olefine durch C<sub>4</sub>- und C<sub>5</sub>-Paraffine, so bleibt zwar der bei 70 °C verdampfende Anteil nach wie vor 25 %, die Reaktivität des Verdampfungsproduktes, d. h. die negative Wirkung in der Atmosphäre, wäre jedoch erheblich verringert. Dies soll an einem Beispiel mit der Annahme, daß der Kraftstoff 5 % C<sub>4</sub>- und C<sub>5</sub>-Olefinmoleküle enthält, gezeigt werden: Die verdampfte Masse wäre wieder 12,5 g. Wie Bild I.2-27 entnommen werden kann, war die Reaktivität der Emission 5 pro 100 g Destillat, während sie bei Olefingehalt Null nur noch 3 wäre. Das würde eine Absenkung der Reaktivität, d. h. der Smogbildungsfähigkeit, um 40 % bedeuten.

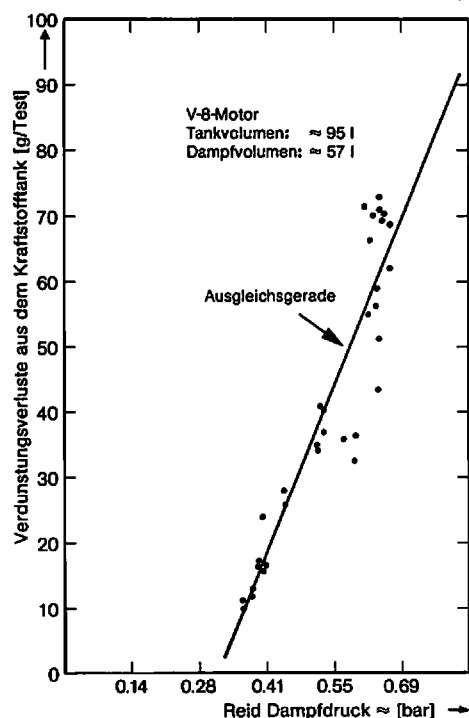
#### 2.3.5 Emissionen aus dem Kraftstofftank

Die Verluste aus dem Tank werden auch durch Verdampfung bewirkt. Da die Tanktemperatur sich in einem Fahrzeug normalerweise nur geringfügig und langsam ändert, ist dieser Prozeß (im Gegensatz zu einem offenen Behälter) stets etwa im Gleichgewicht zwischen Verdampfung und Rückkühlung ("Eigenklima" im Tank). Ein typischer Wert für ein Fahrzeug ohne entsprechendes Emissionskontrollsystem wäre z. B. 50 g nach der FTP-72 Kohlefallen-Methode [73]. Bei Erwärmung dehnen sich Kraftstoff und Dampf aus, wobei Luft-Kraftstoffdampfgemische in die Atmosphäre austreten. Da der Dampfdruck einer jeden Kraftstoffkomponente mit der Temperatur steigt, erfolgt zusätzlich Verdampfung jeder dieser Komponenten bis der Dampfdruck bei der neuen Temperatur wieder erreicht ist.

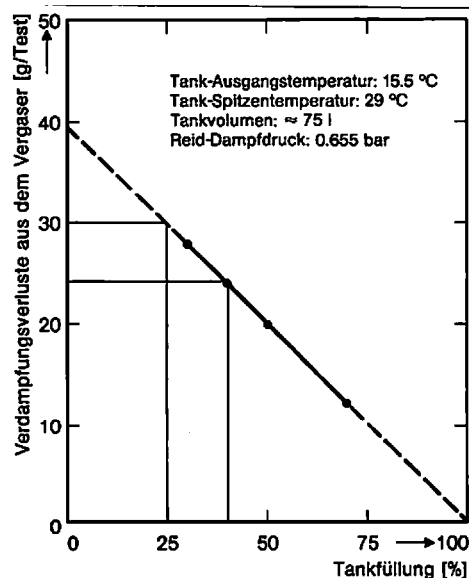
Die Zusammensetzung dieser Verdunstungsemissionen ist wesentlich durch die Kraftstoffzusammensetzung am unteren Ende der Siedekurve bestimmt. Es erfolgen daher um so weniger Verdunstungsverluste, je weniger niedrig siedende Kohlenwasserstoffe im Kraftstoff enthalten sind. Bild I.2-28 zeigt die Einflußfaktoren für die Verdampfungsverluste aus dem Kraftstofftank (zusammen mit den schon früher erwähnten Einflußgrößen auf die Verdampfungsverluste aus dem Vergaser).

Einflußgrößen auf die Verdunstungsverluste aus Vergaser und Tank	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maximale Schwimmkammer-temperatur</li> <li>- Umgebungstemperatur</li> <li>- Schwimmkammervolumen</li> <li>- Konstruktion Belüftungsöffnung</li> <li>- Konstruktion und Zustand von Wellendurchgängen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanktemperatur</li> <li>- Tankdruck</li> <li>- Dampfvolumen</li> <li>- Gleichgewichtsrate zwischen Flüssigkeit und Dampf</li> </ul>
Vergaser und Tank	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kraftstoff-Dampfdruck</li> <li>- Siedekurve (besonders &lt; 90°C)</li> <li>- Molekularmasse des Kraftstoffes</li> <li>- Dichte des Kraftstoffes</li> </ul>	

**Bild I.2-28:** Einflußgrößen auf die Verdunstungsverluste aus Vergaser und Kraftstofftank, nach [74].



**Bild I.2-29:** Einfluß der Flüchtigkeit des Kraftstoffes auf die Verdunstungsverluste aus dem Kraftstofftank, nach [76].



**Bild I.2-30:** Berechneter Einfluß der Tankfüllmenge auf die Verdunstungsverluste, nach [77].

Der Tankdruck (als Summe der Partialdrücke  $p_i$  der einzelnen Kraftstoffkomponenten und der Luft) ist normalerweise gleich dem Atmosphärendruck, es sei denn, es wird ein dichter Tankverschluß verwendet. Der Partialdruck jeder einzelnen Komponente ist gleich dem Produkt aus dem Molanteil (Masse/Molekularmasse) dieser Komponente im flüssigen Zustand ( $x_i$ ) und dem Dampfdruck der Komponente bei Tankdruck, d. h. es wird [75]:

$$P_{\text{Tank}} = P_{\text{Luft}} + x_{\text{Butan}} \cdot p_{\text{Butan Dampf}} + x_{\text{Heptan}} \cdot p_{\text{Heptan Dampf}} + \dots$$

Daraus wird deutlich, daß der vom Kraftstoff verursachte Dampfdruck von der Anwesenheit hochflüchtiger Bestandteile (d. h. Bestandteile mit hohem Dampfdruck) und der Menge jeder dieser Komponenten im Kraftstoff abhängt. Für einen Volumenanteil von 5 % Butan mit einem Dampfdruck von 3,52 bar bei 38 °C trägt Butan mit 0,176 bar zum Tankdruck bei. Enthielte der Kraftstoff nur einen Volumenanteil von 1 %, wäre dieser Beitrag nur 0,0352 bar. Vom Emissionsstandpunkt her sind also nennenswerte Mengen von Bestandteilen mit hohem Dampfdruck bei niedrigen Temperaturen im Kraftstoff unerwünscht. Vom Standpunkt der Reaktivität her sind Butan und Pentan (Paraffine) wünschenswerter als Buten und Penten (Olefine) [75].

Da die Verdampfungsverluste aus dem Kraftstofftank aus einem Gleichgewichtsprozeß bei  $\approx 40$  °C stammen (üblicher Wert für die im Fahrzeugtank vorliegenden Temperaturverhältnisse), wurde im Experiment gefunden, daß die Verdampfungsverluste in (g/Test) zum Dampfdruck (nach Reid) korreliert werden können, was zu der in Bild I.2-29 dargestellten Auftragung führt. Weiterhin kann zur Abschätzung der Tankverluste bei geändertem Flüssigkeits/Dampf-Verhältnis (Füllhöhe im Tank) eine in Bild I.2-30 dargestellte Abhängigkeit herangezogen werden.

### 2.3.6 Emissionen aus dem Verbrennungsvorgang

*Kohlenmonoxid* entsteht bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen im Motor hauptsächlich unter Sauerstoffmangel, d. h. bei Motorbetrieb im Bereich  $\lambda < 1$ . Alle Abgasuntersuchungen haben sehr bald die dominierende Abhängigkeit des Verlaufs der CO-Konzentration vom Kraftstoff/Luft-Verhältnis gezeigt, wie es schematisch in Bild

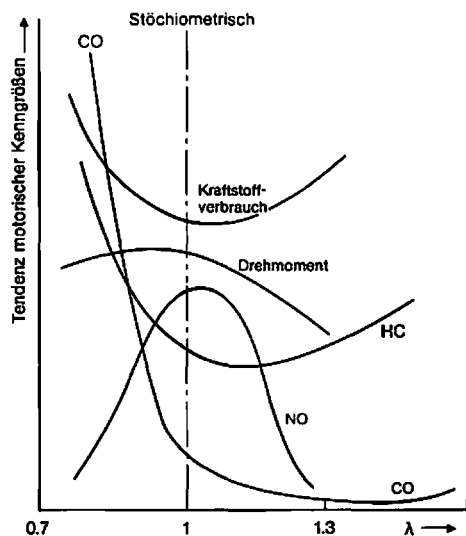


Bild I.2-31: Typische Abhängigkeit von Drehmoment, Kraftstoff-Verbrauch und Emissionen vom Luftverhältnis  $\lambda$ , nach [78].

I.2-31 zusammen mit dem charakteristischen Verhalten der nachfolgend besprochenen übrigen Verbrennungskomponenten dargestellt ist. Wegen der Schwankungen im Gemischbildungs- und Verbrennungsablauf von Zylinder zu Zylinder und Zyklus zu Zyklus wird CO für  $\lambda \geq 1$  nicht Null.

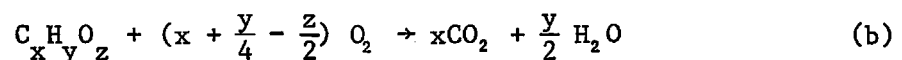
Zum Zweck der Emissionssenkung ist also ein "armes" Gemisch ( $\lambda > 1$ ) anzustreben, was in der Praxis jedoch nur unter Schwierigkeiten realisierbar ist. Grundvoraussetzung für die konstante Einhaltung eines solchen mageren Betriebspunktes (und damit z. B. für die Vermeidung von Fahrfehlern durch Entflammungsaussetzer mit gleichzei-

tigem Anstieg der Emission unverbrannter Kohlenwasserstoffe) ist eine möglichst gleichmäßige Gemischverteilung, eine absolute Anpassung der Kraftstoffmasse an die vom Motor angesaugte Luftmasse im ganzen Kennfeld, eine genaue Einhaltung der Minimal-Kraftstoffmasse bei kaltem oder halbwarmem Motor, unter Umständen sogar eine Anpassung an den wechselnden Luftdruck [79].

Das sich bei unvollständiger Verbrennung ( $\lambda < 1$ ) bildende Kohlenmonoxid kann durch Sauerstoffzugabe (z. B. durch Lufteinblasung in die Auslaßkanäle oder das Auspuffsystem des Motors) zu  $\text{CO}_2$  oxidiert werden:



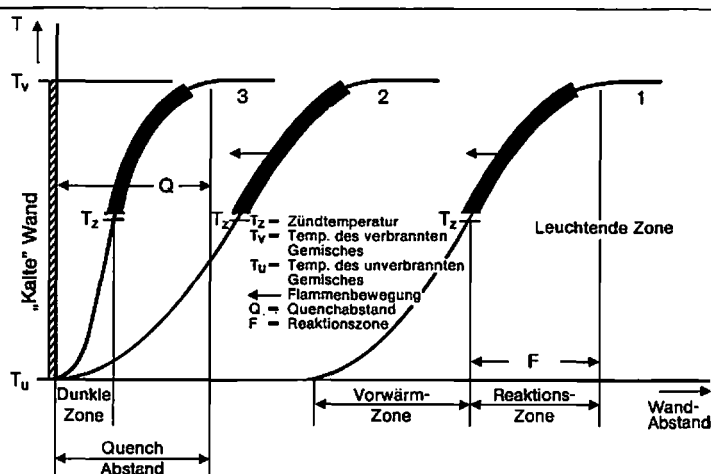
Bei vollständiger Oxidation reagieren die dem Motor im Kraftstoff zugeführten Kohlenwasserstoffe zu dem ungiftigen  $\text{CO}_2$  sowie zu Wasser nach der Gleichung:



*Unverbrannte Kohlenwasserstoffe* entstehen in einem 4-Takt Otto-Motor durch Erlöschen des brennenden Gemisches an kalten Wandungen ("wall quenching") und durch unvollständige Verbrennung bei zu magerem Gemisch.

Im Fall des "wall quenching" tritt die Erscheinung auf, daß eine Flamme nicht bis direkt an eine Wandung durchbrennen kann. Hierbei ist der Abstand, in dem die Flamme vor der Wandung erlischt, dem Druck im Verbrennungsraum und der Quadratwurzel der absoluten Temperatur etwa umgekehrt proportional. In der Literatur wird die "Quench"-Zone mit einer Tiefe von 0,05 bis 0,4 mm abhängig vom Motorbetriebszustand angegeben





**Bild I.2-32:** Verhalten einer Flamme, die sich einer kalten Wand nähert, nach [81].

her aufgeheizt. Bei einer bestimmten Temperatur  $T_z$  (Zündung) beginnen Reaktionen, die eine interne Energieumsetzung bewirken, die höher ist als die Wärmeverluste durch Leitung und Strahlung, so daß sich die Verbrennung fortsetzen kann. Wenn das ganze Gemisch verbrannt ist, besitzt das Abgas die Temperatur  $T_v$  (verbrannt). Die Dicke der Flammenfront ist mit  $F$  bezeichnet.

Kurve 2 zeigt die Flamme näher an der Wand, die Vorwärmzone berührt die Wand gerade, deren Temperatur der Einfachheit halber ebenfalls mit  $T_u$  angenommen wird.

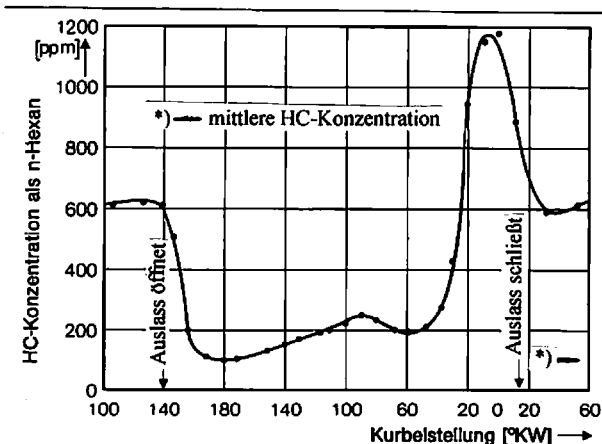
Kurve 3 zeigt das 'Haltmachen' der Flamme kurz vor der Wand. Wärmeübergang zur Wand und das Aufbrechen von HC-Ketten erlauben direkt an der Wand keinen ausreichenden Temperaturanstieg, so daß von nun an im gesamten Gas unterhalb  $T_z$  keine Reaktion mehr stattfindet. In dieser "Dunkelzone" mit einer Tiefe von  $\approx 0,13$  mm [82] entsteht der Hauptanteil unverbrannter Kohlenwasserstoffe. Mit steigendem Abstand von der Wand setzen dann in zunehmendem Maße Reaktionen ein, bis die Wand keinen Einflußfaktor mehr darstellt. Dieser Punkt, die äußere Begrenzung der Quenchzone  $Q$ , ist nach etwa 1 mm erreicht [82]. Versuche haben gezeigt, daß bei Erhöhung der Wandtemperatur von  $\approx 90$  °C auf  $\approx 300$  °C die Quenchzone um 50 % verringert werden konnte [82]. In diesem Zusammenhang sei auch auf die in Teil III, Kap. 2.1.4.3.4 dargestellten Versuche zur Erhöhung der Brennraumwandtemperatur hingewiesen.

Aus dem Obengenannten wird verständlich, daß die Verbrennungsflamme nicht nur im Brennraum kurz vor den Wandungen erlischt, sondern auch nicht in kleine Spalten ( $< 1,0$  bis  $1,3$  mm) eindringen kann. Solche Spalten finden sich um die Kerzenelektrode herum, im Bereich zwischen Kolben, Zylinderwand und oberstem Kolbenring sowie zwischen Zylinderblock und Zylinderkopf bei unsauber sitzenden Zylinderkopfdichtungen.

Unvollständige Verbrennung ist eine weitere Quelle für Kohlenwasserstoffemissionen. Sie tritt auf, wenn das Gemisch zu "fett" oder zu "mager" ist (z. B. durch zu hohe Verdünnung mit Abgas). Bisweilen setzt dabei die Entflammung völlig aus. Gefährdete Fahrzustände sind besonders der Leerlauf und der Schiebebetrieb. Weitere Faktoren,

{80}. In Bild I.2-32 ist in sehr vereinfachter Darstellung das Temperaturprofil einer sich der "kalten" Zylinderwand nähernden Flammenfront dargestellt. Kurve 1 hat hierbei noch keinen Kontakt zur Wandung.

Das unverbrannte Gemisch, zunächst noch auf der Temperatur  $T_u$  (unverbrannt), wird in der Vorwärmzone hauptsächlich durch Leitung vom brennenden Gas hinter der Flammenfront



**Bild I.2-33:** Veränderung der Konzentration unverbrannter Kohlenwasserstoffe in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel, gemessen  $\approx 5$  cm nach dem Auslaßventil, nach [84]

die unvollständige Flammenfortpflanzung und Entflammungsaussetzer begünstigen, sind:

- schlechter Zustand von Kerzen und Zündsystem
- niedrige Temperatur der Ladung
- schlechte Gemischhomogenität
- zu "fettes" oder zu "mageres" Gemisch im Moment der Zündung oder danach
- hohe zurückbleibende Abgasreste mit ungünstiger Verteilung im Zylinder
- starke Ablagerungen im Brennraum

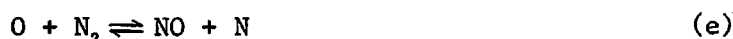
(Ablagerungen können Kraftstoff vor Zündung "aufsaugen", im Ansaug- und VerdichtungsHub speichern und später in den Expansionshub verdampfen lassen, ohne daß Entflammungsfähigkeit vorliegt [83].)

Etwa 50 % des gesamten Abgases verlassen bei Vollast den Zylinder in den ersten 20 °KW des Ausschubhubes, bei Teillast weniger, wobei die Konzentrationen unverbrannter Kohlenwasserstoffe zunächst sehr gering sind, da diese 50 % der Ladung hauptsächlich aus der Brennraum-Mitte mit guter Verbrennung stammen. Kurz vor Schließen des Auslaßventils werden Abgase mit hohen HC-Konzentrationen (aus Brennraum-Wandnähe) ausgeschoben. Dieses Verhalten ist in Bild I.2-33 dargestellt. Im Zylinder bleiben bei Vollast etwa 34 % (bei kleinen Lasten mehr) der unverbrannten Kohlenwasserstoffe zurück [85].

*Stickoxide* entstehen aus dem in der Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoff zunächst als NO, das zu dem giftigeren Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) weiteroxidiert. Eine einheitliche Auffassung über den Beginn der NO-Bildung im Otto-Motor ist in der Literatur nicht vorhanden. Die einfache Reaktion zwischen Stickstoff und Sauerstoff nach [86]:

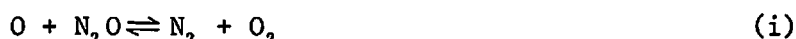


sagt wesentlich geringere NO-Konzentrationen voraus, als sie in Motoren mit innerer Verbrennung tatsächlich gefunden werden. Die Zeldovich-Kettenreaktion [87]:



geht davon aus, daß zunächst Dissoziation des Sauerstoffs bei hohen Temperaturen einsetzt und dann das Sauerstoffatom mit dem Stickstoffmolekül Stickstoffmonoxid und ein Stickstoffatom bildet, wobei letzteres mit Sauerstoff ein weiteres NO-Molekül und ein Sauerstoffatom ergibt. Zeldovich nimmt an, daß das Stickstoffatom die Kettenreaktion deshalb nicht beginnt, weil seine Gleichgewichtskonzentration während des Verbrennungsprozesses im Vergleich zu der des atomaren Sauerstoffs relativ klein ist.

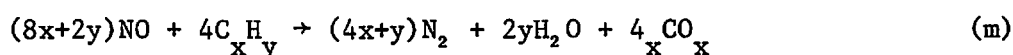
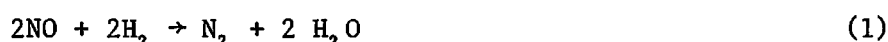
Lavoie, Heywood und Keck [88] haben die Zeldovich-Reaktion durch Hinzufügen einer Reaktion zwischen N- und OH-Radikalen sowie anderen Reaktionen ergänzt:



Wie auch von allen anderen Quellen bestätigt, ist der in der letzten Gleichung gezeigte Rückbildungsprozeß sehr langsam, so daß die vorhandenen NO-Konzentrationen im Expansionshub nahezu unverändert bleiben.

Nach Fenimore [89] resultiert die NO-Bildung in Kohlenwasserstoffflammen aus dem Angriff von C- oder HC-Radikalen auf die N<sub>2</sub>-Moleküle, und er behauptet damit, daß Stickstoffatome die Kettenreaktion einleiten. Dies steht im Widerspruch zu der oben genannten Zeldovich-Reaktion, nach der Sauerstoffatome dafür verantwortlich sind.

Eine Verhinderung der NO<sub>2</sub>-Bildung durch Luftmangel (Stickoxidreduktion) kann nach folgenden Beziehungen ablaufen:



Der gemäß Gleichung (n) entstandene Ammoniak kann durch die sogenannte "Ammoniakspaltung" wieder in Stickstoff und Wasserstoff zerlegt werden:



Hinweis LAND	Datum	Maximal zulässiger Bleigehalt im Kraftstoff [g Pb/l]	Bemerkung
Europäische Gemeinschaft (EG)	ab 1.1.1981	0.40	Vorgeschriebener Mindestwert: 0.15 g Pb/l
Bundesrepublik Deutschland	bis Ende 1971 ab 1.1.1972 ab 1.1.1976	0.635 0.40 0.15	
Schweiz	ab 1.1.1975 ab 1.1.1978 ab 1.1.1982	0.40 0.15 0.15	für Normalbenzin für Superbenzin
Schweden	1964 bis 31.12.1969 ab 1.1.1970 ab 1.1.1973 ab 1.1.1980 ab 1.7.1981*)	0.85 0.70 0.40 0.15 0.15	*) real am Markt schon am 1.4.81 eingeführt für Normalbenzin für Superbenzin
USA	Gesetzliche Vorschriften für verbleiten Kraftstoff seit Jahren in der Diskussion, aber noch kein endgültiges Gesetz! »Bleifrei«-Kraftstoff muß seit 1.7.1974 ebenfalls am Markt verfügbar sein.		
Japan	ab 1.7.1970	0.30 [cm <sup>3</sup> /l]	»Bleifrei«-Kraftstoff muß seit 1.2.1975 ebenfalls am Markt verfügbar sein.
Australien New South Wales/ Bereich Sydney	ab 1.1.1975 ab 1.1.1977 ab 1.1.1980	0.64 0.45 0.40	*) Kein Gesetz; real im Feld maximal vorhandener Wert (wie auch in allen anderen Staaten)  »Bleifrei«-Kraftstoff muß ab 1.7.1985 ebenfalls am Markt verfügbar sein.
New South Wales/ Rest	ab 1.1.1975	0.64*	
Victoria	ab 1.10.1975 ab 1.1.1977 ab 1.1.1979	0.60 0.55 0.45	
Tasmania	ab 1.2.1975 ab 1.1.1977 ab 1.1.1979	0.64 0.50 0.45	

*Bleiverbindungen* im Automobilabgas stehen in direkter Relation zur Masse des dem Kraftstoff zur Erhöhung der Klopfestigkeit zugesetzten Bleis und könnten daher bei Verwendung bleifreien Kraftstoffes völlig eliminiert werden. Die "Bleigesetzgebung" der in dieser Arbeit erwähnten Länder ist in Bild I.2-34 zusammengefaßt. Weit verbreitet ist der Einsatz von Bleitetraethyl (Tetraethyl Lead, TEL), Pb (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>, das einen Siedepunkt von 200 °C hat, zu 60 % seiner Masse aus Blei besteht und sehr giftig ist. Es zerfällt schon teilweise unterhalb seines Siedepunktes. Die vier Ethylgruppen verbrennen zu Wasser und Kohlendioxid, das Blei zu Bleioxid,

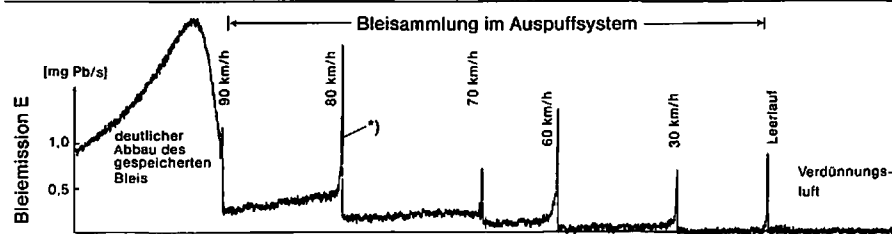
**Bild I. 2-34:** Die »Blei-Gesetzgebung« für Otto-Motoren-Kraftstoffe in verschiedenen Ländern

Bleitetramethyl	Bleitrimethylethyl	Bleidimethyldiethyl	Bleimethyltriethyl	Bleitetraethyl
$Pb(CH_3)_4$	$Pb(CH_3)_3(C_2H_5)$	$Pb(CH_3)_2(C_2H_5)_2$	$Pb(CH_3)(C_2H_5)_3$	$Pb(C_2H_5)_4$
Siedepunkt [°C]: 110	137	159	179	200

Bild I.2-35: Siedepunkt und Bindungsschema für Bleiverbindungen, nach [92].

Zerfall Brom- oder Chlorradikale ( $Br^\circ$  oder  $Cl^\circ$ ) bereit, die wiederum statt zu dem (sich ablagernden) Bleioxid ( $PbO$ ;  $PbO_2$ ) zu den (flüchtigen) anorganischen Bleiverbindungen ( $PbBr_4$ ;  $PbCl_4$ ) führen und den Motor in Dampfform zusammen mit den Auspuffgasen verlassen [90].

Anstelle der meistverwendeten Mischungen aus Bleitetraethyl (TEL) und Bleitetramethyl (TML) können auch Verbindungen treten, bei denen an das Bleiatom abwechselnd



\*Beschleunigung zwischen den Konstantfahrten

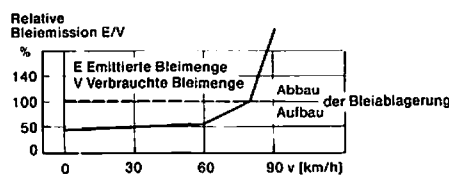
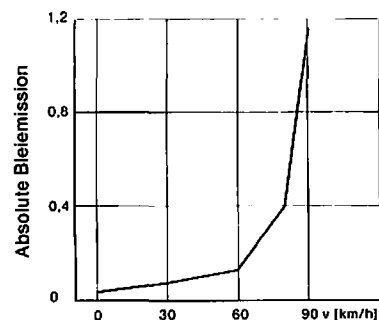


Bild I.2-36: Bleiemission in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit, nach [93]

die Tatsache, daß eine höhere Geschwindigkeit (Temperatur, Abgasstrom) eine höhere Bleiemission bewirkt. Dabei fällt der Abbau der Bleiablagerungen ab 90 km/h auf [93].

## 2.4 Emissionen eines Pkw mit Diesel-Motor

Die Emissionen eines "ungereinigten" Pkw mit Diesel-Motor setzen sich zusammen aus:

- Emissionen aus der Kurbelgehäuse-Entlüftung (Gase, Schwefelverbindungen, Geruch)
- Emissionen aus der motorischen Verbrennung (Gase, Schwefelverbindungen, Feststoffe, Geruch)

Die Quellen dieser Luftverunreinigungen sind in Bild I.2-37 veranschaulicht.

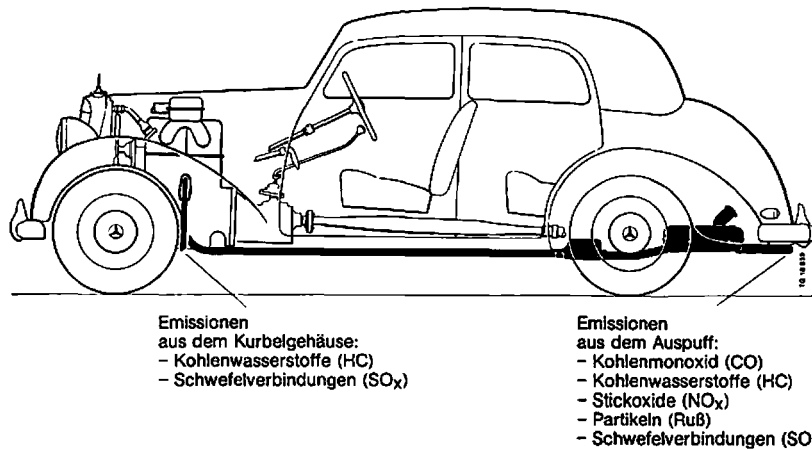
Die erstgenannten Emissionen sind vernachlässigbar, da während des Kompressions-

eine Ablagerung im Motor zu unterbinden, werden dem TEL halogenierte Kohlenwasserstoffe, meist Bleibromid ( $CnH_{2n}Br_2$ ) oder Bleichlorid ( $CnH_{2n}Cl_2$ ), beigemischt. Diese Verbindungen stellen bei ihrem

Ethyl- und Methylgruppen gebunden sind [91], wie es Bild I.2-35 zeigt. Wegen seiner höheren Flüchtigkeit verteilt sich TML gleichmäßiger auf die einzelnen Zylinder eines Motors als TEL [91].

Die Emission von Blei aus dem Fahrzeugauspuff hängt von der Fahrgeschwindigkeit ab.

Bild I.2-36 verdeutlicht



**Bild I.2-37:** Der PKW als mobile Emissionsquelle, dargestellt an den Emissionen eines „ungereinigten“ Fahrzeugs mit Diesel-Motor.

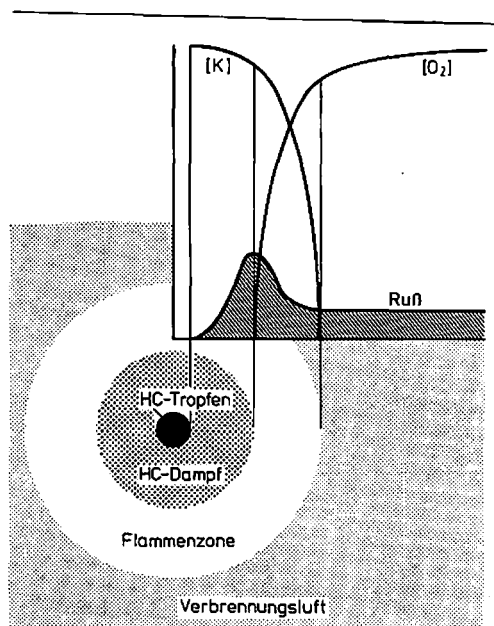
hubes reine Luft verdichtet und somit in dieser Arbeitsphase auch nur reine Luft als "Blowby-Gas" ins Kurbelgehäuse gelangt. Die aus dem Expansionshub stammenden Leakage-Gase verursachen nach [94] lediglich eine Schadstoffemission aus dem Kurbelgehäuse in Höhe von 1 % der bei einem Otto-Motor auftretenden Masse.

*Verdunstungsemissionen* brauchen ebenfalls nicht berücksichtigt zu werden, da das Kraftstoffsystem (wie auch beim Otto - Einspritzmotor) völlig geschlossen ist, und der Dieseldieselkraftstoff eine äußerst geringe Flüchtigkeit aufweist.

Die *Abgasemissionen* bestehen außer aus den vom Otto-Motor her bereits bekannten Schadstoffen (unverbrannte Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid, Stickoxide) weiterhin aus Schwefelverbindungen und Ruß. Die Schwefelverbindungen werden jedoch nicht durch den dieselmotorischen Verbrennungsprozeß verursacht, sondern treten bedingt durch den Schwefelgehalt des Kraftstoffes auf. Da die Partikel-Emission im Gegensatz zu dem beim Otto-Motorenkonzept ohne Katalysator vorliegenden etwa gleich hohen Feststoffausstoß (Blei!) sichtbar ist, wird sie in der Öffentlichkeit als ein Nachteil des Dieselmotors beanstandet. Darüber hinaus empfindet man auch den Geruch des dieselmotorischen Abgases als Belästigung. Im Rahmen dieser Arbeit wird innerhalb der gesetzlich limitierten Schadstoffe nur die Ruß-(Partikel-)Emission mitbehandelt.

#### 2.4.1 Die dieselmotorische Verbrennung

Im Gegensatz zum Otto-Motor mit externer, homogener Gemischbildung und Füllungsveränderung arbeitet der Dieselmotor mit interner Bildung eines heterogenen Gemisches, das durch Veränderung der eingespritzten Kraftstoffmasse variiert wird (Gemischveränderung). Das homogene Gemisch des Otto-Motors verbrennt als Gas, während beim Dieselmotor Tropfenverbrennung vorliegt. Die klassische Vorstellung geht hierbei davon aus, daß jeder der sich im Brennraum in unterschiedlichem Abstand voneinander befindenden Millionen von Kraftstofftropfen, von denen jeder maximal die Siedetemperatur des in ihm enthaltenen niedrigstsiedenden Stoffes erreicht, von einer Kraftstoffdampfhülle umgeben ist [95]. Diese Hülle erhält ständig vom verdampfenden und wegen Aussiedens der niedrigersiedenden Bestandteile in seiner Temperatur ansteigenden Tropfen Nachschub. Wie Bild I.2-38 zeigt, nimmt innerhalb der Dampfhülle die Kraftstoffkonzentration (K) nach außen hin ab. Eine Verbrennung findet nur in der äußeren Randzone der Dampfzelle statt, da wegen der begrenzten Diffusionsgeschwindigkeit von Kraftstoff und Sauerstoff nur innerhalb einer begrenzten Zone ein brennfähiges



Kraftstoff/Luft-Gemisch existiert. An der Außenseite der Flammenfront herrscht Sauerstoff-Überschuß, an der Innenseite extremer Luftmangel {95}.

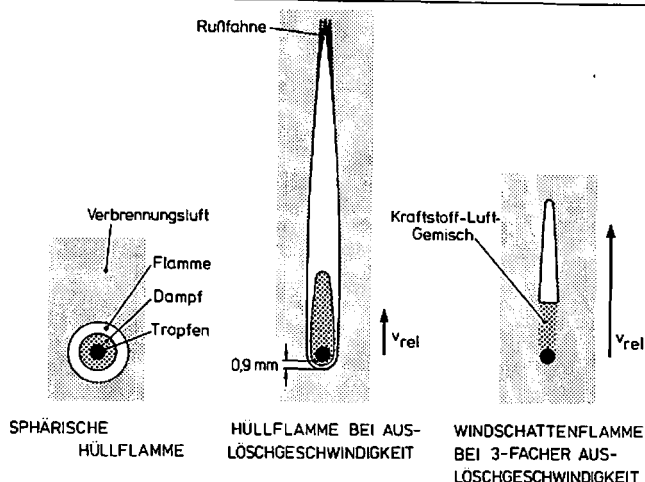
Bei dem in Bild I.2-38 dargestellten Modellfall handelt es sich um Diffusionsverbrennung eines Kraftstofftropfens ohne Relativbewegung zur umgebenden Luft. Dieser Fall ist jedoch im Motor nicht gegeben, da mit Beginn der Verbrennung durch Konvektion eine Luft- und Abgastransportbewegung relativ zum Tropfen einsetzt, und da ferner (außer an bestimmten Stellen der Brennraumwand) wegen des Ein- und Ausströmens der Luft in den Brennraum und wegen der während des Saughubes der Zylinderladung aufgeprägten Bewegung

**Bild I.2-38:** Modell der klassischen Vorstellung von der Verbrennung und Rußbildung am Tropfen, [95].

weder makro- noch mikroskopisch völlig ruhende Luft im Brennraum vorhanden sein kann. Die stark turbu-

lente Luft strömt außerdem zu keiner Zeit des Arbeitsspieles stationär. Sie wird zu jedem Zeitpunkt beschleunigt oder verzögert, so daß jeder Tropfen aufgrund seiner Trägheit gezwungen wird, der umgebenden Luft vor- oder nachzueilen, woraus zu jedem Zeitpunkt eine Geschwindigkeitsdifferenz resultiert. Die "sphärische Hüllflamme" ist damit als Modell für die dieselmotorische Verbrennung ungeeignet {96}.

In Bild I.2-39 werden die möglichen Flammenarten bei Tropfenverbrennung verglichen. Aufgrund starker Relativbewegung zwischen Kraftstofftropfen und Umgebungsluft wird nicht die "sphärische Hüllflamme", sondern die "Windschattenflamme" vorliegen. Zunächst wird die an dem von Luft angeströmten verdampfenden und brennenden Kraftstofftropfen entstehende Flamme mit wachsender Luftgeschwindigkeit immer mehr auf die Windschattenseite des Tropfens verweht, bis die Flamme bei der sogenannten Auslöschgeschwindigkeit ("extinction velocity") ihre größte Länge erreicht. Bis zu dieser Geschwindigkeit umschließt die Flamme noch die ganze Kraftstoffdampfhülle, so daß vorwiegend Diffusionsverbrennung stattfindet, da eine mechanische Mischung

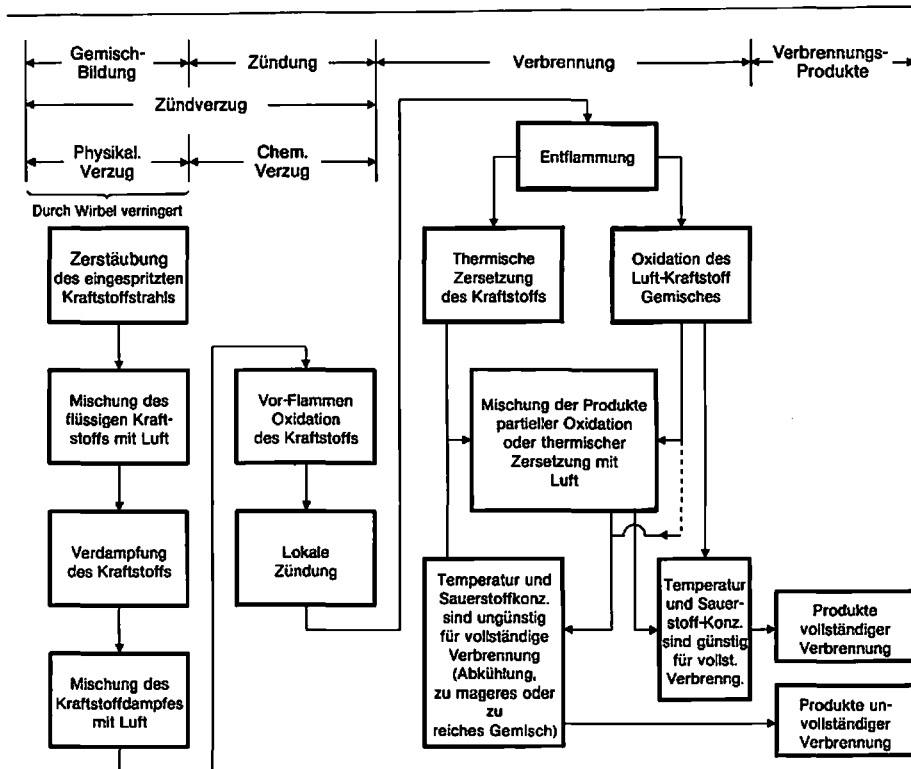


von Luft und Kraftstoff durch die geschlossene Flammenzone hindurch kaum möglich ist {96}. Beim Überschreiten der Auslöschgeschwindigkeit "zerreißt" die geschlossene Hüllflamme und geht in eine leuchtende Flammenfahne im Windschatten des Tropfens über {97}. Hinter dem Tropfen bildet sich eine nicht von einer Flamme umschlossene Kraftstoffdampf-Verbrennungsluft-Gemischwolke aus, die sich deutlich von der leuchtenden Flammenfahne abgrenzt {98}.

**Bild I.2-39:** Die drei möglichen Arten von Flammen bei der Tropfenverbrennung, [96].

Wie in {99} detailliert dargelegt wird, kann die Diffusionsflamme in Diesel-Motoren nur in begrenztem Maße auftreten, da:

- Diffusionsflammen gegenüber Änderungen der Verbrennungsluft-Zusammensetzung immer die gegenteilige Reaktion wie Diesel-Motoren zeigen
- Diffusionstropfenverbrennung einen großen Raum bedingt, der im Diesel-Motor nicht in ausreichendem Maß verfügbar ist
- Diffusionstropfenverbrennung nur bei sehr kleinen Relativgeschwindigkeiten zwischen Tropfen und Umgebungsluft möglich ist, die beim Diesel-Motor in der Regel überschritten werden
- Diffusionstropfenverbrennung nur bei laminarer Strömung möglich ist, die im Diesel-Motor im allgemeinen nicht vorliegt.



Obwohl also der Hauptteil der Verbrennung im Diesel-Motor - mit Ausnahme einer relativ kleinen Kraftstoffmasse, die innerhalb der Zündverzugszeit vollkommen verdampft - als Tropfenverbrennung stattfindet, so erfolgt dieses jedoch vorwiegend in Windschattenflammen, d. h. vorgemischt. Nur ein kleiner Teil des Kraftstoffes kann in Diffusionstropfenflammen verbrennen {99}.

Bild I.2-40: Verbrennung in einem Diesel-Motor, nach [100].

Die dargestellten Zusammenhänge sind von grundlegender Bedeutung beim Verständnis der Rußentstehung im dieselmotorischen Verbrennungsprozeß, auf die in Kap. 2.4.3 näher eingegangen wird.

## 2.4.2 Gasförmige Emissionen

Wie schon in Kap. 2.3 für den Otto-Motor durchgeführt, seien nun auch beim Diesel-Motor die Zusammenhänge erläutert, deren Kenntnis zum Verständnis der Emissionsentstehung und der später in Teil III behandelten Emissionskontrollmaßnahmen Voraussetzung ist. Gemäß den Begründungen aus Kap. 2.4 brauchen nur die Emissionen aus dem Verbrennungsvorgang betrachtet zu werden, dessen Zusammenhänge in Bild I.2-40 schematisch dargestellt sind.

Kohlenmonoxid-Konzentrationen im Dieselmotorenabgas liegen meist nicht über Volumenanteilen von 0,1 bis 0,15 % und bleiben in einem großen Teil des Kennfeldes so-

gar unter 0,05 %, was dem CO-Grenzwert für Untertagebetrieb entspricht. Ein Otto-Motor liegt im größten Teil seines CO-Kennfeldes dagegen bei  $\approx 0,5$  % ("unbehandelter" Motor oder bei  $\approx 0,2$  %, falls schon aus Emissionskontrollgründen abgemagert).

Die geringe CO-Emission des Diesel-Motors im Vergleich zum Otto-Motor ist eine Folge des Verfahrensunterschiedes bei der Verbrennung. CO entsteht wesentlich bei Luftmangel, was beim Diesel-Motor der stets mit Luftüberschuß arbeitet (bei Vollast:

$\lambda = 1,3$  bis  $1,5$ , bei Teillast:  $\lambda$  bis  $> 10$ ), höchstens örtlich in bestimmten Verbrennungszonen auftreten kann.

*Unverbrannte Kohlenwasserstoffe* treten im Abgas von Diesel-Motoren im Vergleich zum Otto-Motor nur in geringen Mengen auf, wobei sich eine große Anzahl verschiedener Verbindungen – die nicht notwendigerweise im zugeführten Kraftstoff vorhanden gewesen sein müssen – im Bereich von  $C_1$  bis  $C_{24}$  bilden können {101}.

Der Ausstoß nur geringer Mengen unverbrannter Kohlenwasserstoff-Verbindungen ist einmal darauf zurückzuführen, daß der Kraftstoff erst gegen Ende des Kompressionshubes in den Brennraum eingespritzt wird. Somit kann während der Verdichtung kein Kraftstoff/Luft-Gemisch in Spalträume des Brennraumes gelangen und dort unverbrannte Gemischreste bilden. Da außerdem nur geringe Kraftstoffanteile an gekühlte Brennraumwänden gelangen, ist bei Diesel-Motoren auch die Gefahr einer Auslöschung der Flamme durch den in Kap. 2.3.6 beschriebenen "Quench"-Effekt und damit die Gefahr einer unvollständigen Verbrennung wesentlich geringer als bei Otto-Motoren. Außerdem entfallen am Diesel-Motor die bei instationärem Betrieb von Otto-Motoren nur schwer beherrschbaren Vorgänge der Gemischbildung und der Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder, so daß hier auch die beim Schiebetrieb von Otto-Motoren auftretenden starken Anstiege der Kohlenwasserstoffemission vermieden werden {102}.

Unverbrannte Kohlenwasserstoffe im Abgas von Diesel-Motoren bestehen entweder aus den ursprünglichen oder zersetzten Kraftstoffmolekülen oder aus Rekombinationen von Zwischenprodukten.

Die *Stickoxid*-Bildung hängt – wie aus der in Kap. 2.3.6 zitierten Zeldovich-Kettenreaktion ersehen werden kann – bei der motorischen Verbrennung von der örtlichen Sauerstoff-Atomkonzentration ab, die eine Funktion der örtlichen Konzentrationen von Sauerstoffmolekülen, der örtlichen Temperatur und der Verweilzeit unter diesen Bedingungen ist. Da die Verweilzeit bei der motorischen Verbrennung in der Größenordnung weniger Millisekunden liegt, sind für die Stickoxidbildung hauptsächlich Temperaturen  $> 1800$  K maßgebend.

Bild I.2-41 zeigt im oberen Teil des Bildes diesen Zusammenhang. Der Temperatureinfluß ist exponentiell, so daß bei Temperaturen  $> 2000$  K mit einer erheblichen Stickoxidbildung zu rechnen ist. Im unteren Teil des Bildes ist in Abhängigkeit von der Verweilzeit und mit der Gastemperatur als Parameter der Prozentsatz an Stickoxid angegeben, der sich in bezug auf den Gleichgewichtszustand bildet. Selbst bei einer



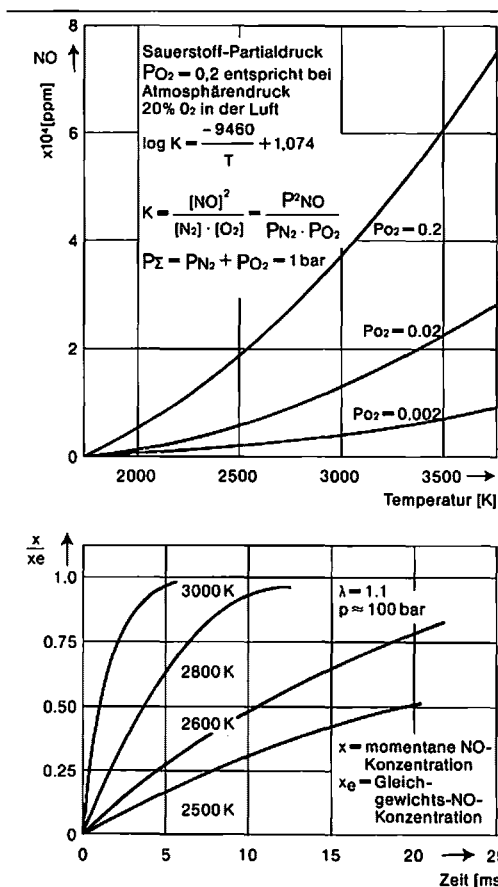


Bild I. 2-41: NO-Bildung im Verbrennungsprozeß, nach [103]

Temperatur von 2500 K bilden sich in 5 ms - etwa die Brenndauer in Motoren bei 3000 U/min - nur etwa 12 bis 15 % derjenigen Masse, die bei Gleichgewicht zu erwarten ist. Der enorme Temperatureinfluß wird hier besonders deutlich, denn schon bei einer um 500 K höheren Temperatur bildet sich in 5 ms fast die gesamte Gleichgewichtsmasse. Berücksichtigt man dabei, daß das Gleichgewicht bei einem Luftverhältnis von 1,1 und 2500 K 6930 ppm NO bedeutet, während bei 3000 K 13.800 ppm NO erreicht werden können, dann wird der Einfluß der Temperatur auf die NO-Bildung noch deutlicher [103].

Im Diesel-Motor wird NO nicht im Kompressionstakt gebildet, da die erreichten Temperaturen zu gering sind. Bei dem bis heute in Mercedes-Benz Motoren für Personenkraftwagen ausschließlich eingesetzten Vorkammer-Verfahren erfolgt der Verbrennungsablauf in zwei Phasen und wird daher auch als Zwei-Stufen-verbrennung bezeichnet. Phase 1 der Verbrennung beginnt in der Vorkammer unter erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur bei überwiegendem Luftmangel. Durch die hohe Temperatur wären zwar nach dem zuvor Gesagten die Voraussetzungen für eine NO-Bildung vorhanden, aber wegen des örtlichen Luftmangels kommt es nur zu einer sehr minimalen NO-Entstehung. Ein kleiner verbleibender nicht ausspülbarer Restgasanteil in der Vorkammer verhindert noch zusätzlich die Stickoxidbildung [104].

Die 2. Phase der Verbrennung setzt sich im Hauptbrennraum fort. Hier sind zwar die Reaktionspartner  $O_2$  und  $N_2$  ausreichend vorhanden, jedoch nimmt die Verbrennung ihren Fortgang bei geringerer Temperatur und geringerem Druck, also unter Bedingungen, bei denen nur noch eine sehr geringe NO-Bildung möglich ist und schließlich "Einfrierbedingungen" erreicht werden [104].

Das niedrige Stickoxid-Emissionsniveau dieser 2-Stufen-Verbrennung ist ein grundsätzlicher Vorteil von Nebenkammermotoren, wenn man an die in Teil III beschriebenen aufwendigen Technologien zur gesetzlich geforderten Absenkung dieser Emissionen denkt.

Die *Schwefeldioxidemission* eines Diesel-Motors ist ausschließlich abhängig vom Schwefelgehalt des zugeführten Kraftstoffes. Dieser Massen-Gehalt ist gewöhnlich bei den schwerstflüchtigen Kraftstoffen am höchsten und beträgt je nach Herkunftsland z. B. 0,2 bis 0,4 % [104]. Die  $SO_2$ -Gehalte im Abgas von Pkw Diesel-Motoren liegen im allgemeinen  $< 200$  ppm. Bei Annahme eines Schwefelmassengehaltes von 0,5 % im Kraftstoff, einem Kraftstoffverbrauch von 10 l/100 km und einer (theoretischen) Umsetzung von

100 % dieses Schwefels in  $SO_x$ , würde ein 2,4 l Mercedes-Benz Pkw Diesel-Motor 1,0 g/m  $SO_x$  in der FTP-72 emittieren {104}.

Vom Standpunkt des Motorherstellers ist der Schwefel im Dieselöl unerwünscht, er erhöht nur zusätzlich den Zylinderverschleiß. Durch Entschwefelungsanlagen könnte der Schwefel<sup>x)</sup> für die Zukunft gänzlich beseitigt werden, wodurch jedoch eine zusätzliche Kostenbelastung für den Verbraucher entstehen würde, da dieses Verfahren sehr teuer ist {103}.  
<sup>x)</sup> bei der Kraftstoffherstellung

2.4.3 Partikel-Emissionen

Partikeln sollten bei ihrer Definition nach {105} zusammen mit der Definition von Aerosolen gesehen werden, wie es in Bild I.2-42 veranschaulicht ist. Danach stellt Diesel-Rauch ein Aerosol dar, das aus der konzentrierten Ansammlung fester oder

Partikel	+	Trärgas	=	Aerosol	Aerosol-Typ
Blei (Pb)		Abgas		Blei-Aerosol	Dispersions-Aerosol
Sulfat (SO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> )		Abgas		Sulfat-Aerosol	
Ruß		Abgas		Schwarzauch	
Unverbrannte Kohlenwasserstoffe		Abgas		Blaurauch	Kondensations-Aerosol
Kondensierte Wassertropfen		Abgas		Weißrauch	
		Luft		Nebel	

flüssiger Partikeln im Trärgas Abgas besteht.  
Beim Vorliegen fester Partikeln wird von einem Dispersions- und beim Vorliegen flüssiger Partikeln von einem Kondensationsaerosol gesprochen. Die Entstehung von Flüssigkeitsrauch (Kondensationsaerosol) und Feststoffrauch (Dispersionsaerosol) und die möglichen Ursachen der zu diesen Emissionen führenden unvollständigen Verbrennung im Diesel-Motor sind in Bild I.2-43 zusammengefaßt.

Bild I.2-42: Definition der Begriffe Partikel und Aerosol, nach {105}.

(Dispersionsaerosol) und die möglichen Ursachen der zu diesen Emissionen führenden unvollständigen Verbrennung im Diesel-Motor sind in Bild I.2-43 zusammengefaßt.

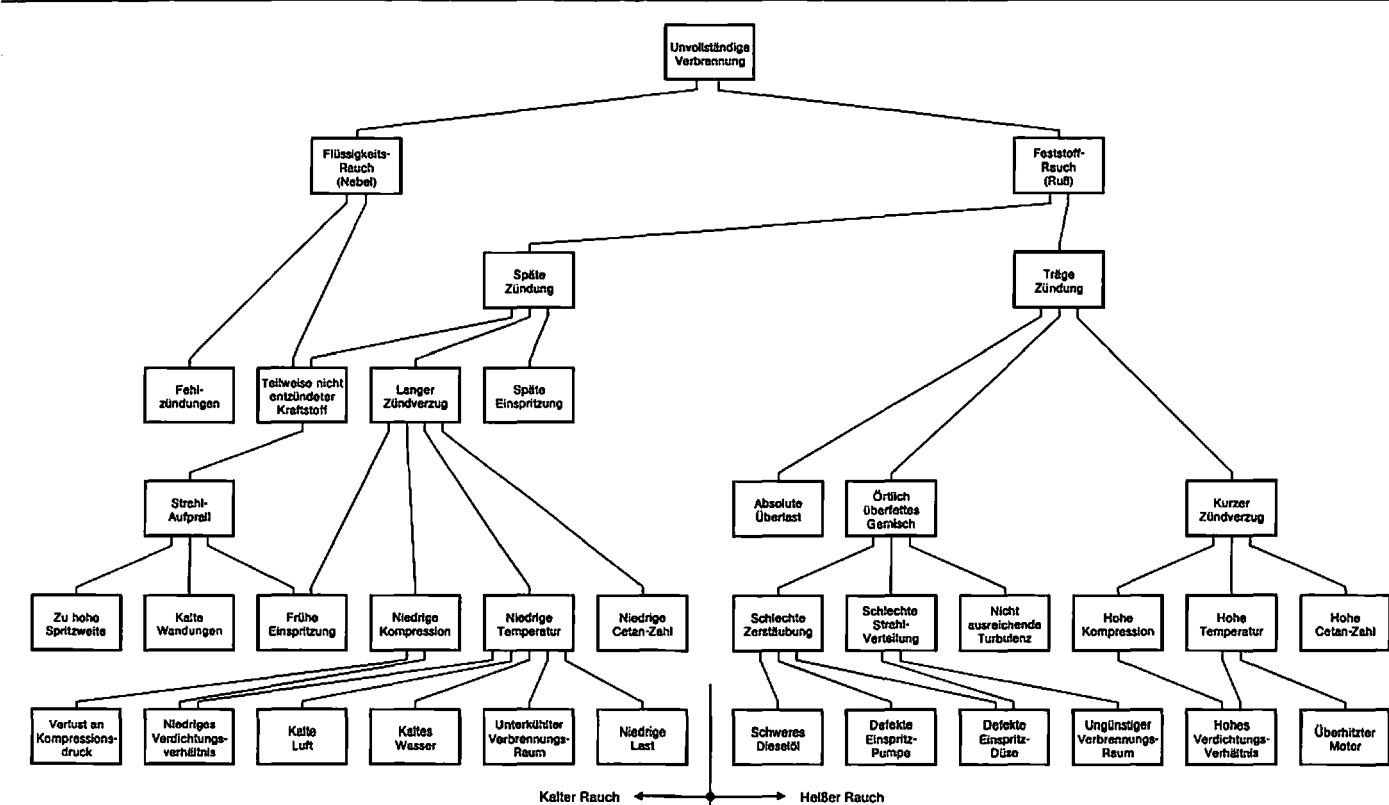


Bild I.2-43: Ursachen für unvollständige Verbrennung und Rauch-Entwicklung im Diesel-Motor, nach {106}.

*Weißrauch* besteht als Kondensationsaerosol hauptsächlich aus kondensierten Wassertropfen mit geringen Mengen Aldehyden und kann (bei Diesel- und Otto-Motoren) hauptsächlich während der kalten Jahreszeit wahrgenommen werden, wenn Motor und Abgassystem zu kalt sind, um die Feuchtigkeit im Abgas in der gasförmigen Phase zu halten. Weißrauch verschwindet mit dem Warmlauf und ist daher von geringer Bedeutung {107}.

*Blaurauch* besteht - ebenfalls als Kondensationsaerosol - hauptsächlich aus kondensierten Kraftstofftropfen, die das Ergebnis unvollständiger Verbrennung sind. Blaurauch hängt von der Kraftstoffzusammensetzung ab und tritt meist während der Warmlaufphase auf, wobei die Lufttemperatur niedrig ist. So beträgt z. B. die gasförmige, unsichtbare (!) Kraftstoffmasse in 1 m<sup>3</sup> Abgas bei 100 °C etwa 5 g. Blauchauchtropfen haben einen wesentlich kleineren Durchmesser als die von Weißrauch oder Schwarzauch {107}. Wie in {108} zitiert, ist der Farbunterschied der beiden Raucharten in der Größe der kondensierten Tropfen begründet. So erscheinen Tropfen, deren Durchmesser größer als die Wellenlänge des blauen Lichtes ist, dem Betrachter weiß. Die kleineren Tropfen erkennt das Auge in der Gesamtheit in der Draufsicht als blau. Da jedoch im Abgasrauch alle Tropfengrößen auftreten, entsteht ein Farbgemisch aus beiden Farben.

Blauchauchemissionen haben bei mittleren Werten von Arbeit/Hubvolumen ein Maximum (z. B. bei etwa 40 % des Höchstwertes mit "straight-run" Kraftstoffen und bei etwa 60 % mit gecrackten Kraftstoffen). Mit steigender Drehzahl verschiebt sich das Maximum zu niedrigeren Werten, wobei das Verschieben mit der Abgastemperatur zusammenhängt. Blauchauch entsteht auch - jedoch in viel kleineren Mengen - beim Verbrennen von Schmieröl {107}. Weiß- und Blauchauch treten bei jedem Typ eines Motors mit innerer Verbrennung auf, wobei nach dem oben Gesagten klar geworden ist, daß nicht jede sichtbare Emission aus Partikeln besteht und andererseits nicht jede Partikelemission sichtbar ist {107}.

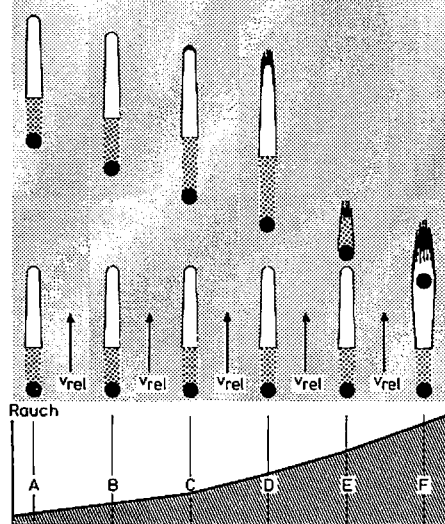
*Schwarzauch* ist - als Dispersionsaerosol - die problematischste und im Rahmen dieser Arbeit am meisten interessierende Rauchart, die gekennzeichnet ist durch das Vorhandensein von Rußpartikeln im Abgas {107}. Beim Diesel-Motor wird die Entstehung von Ruß zunächst durch physikalische Faktoren, wie Druck und Temperatur, das Verhältnis Kraftstoff zu Oxidationsmittel, bezogen auf stöchiometrische Verhältnisse sowie Turbulenzen vor und während der Verbrennung beeinflusst {109}. Andere Einflüsse auf die Rußentstehung wurden aus der Zusammensetzung des Kraftstoffes festgestellt. Obwohl Ausnahmen bestehen, kann man reine Kohlenwasserstoffe in der Reihenfolge zunehmender Rußbildungsneigung bei einer bestimmten Anzahl Kohlenstoffatome wie folgt ordnen: Normale Paraffine, Iso-Paraffine, Cyklo-Paraffine, Olefine, Cyklo-Olefine, Di-Olefine und Aromate {109}.

Außerdem ist die Entstehung von Ruß noch abhängig vom Verbrennungsverfahren, vom Spritzbeginn, Spritzende und Zündverzug. Bei einem Diesel-Motor mit Nebenkammer ist

die Menge des entstehenden Rußes abhängig von der Verteilung des Kraftstoff/Luft-Verhältnisses in der Nebenkammer zum Zeitpunkt des Spritzbeginns und von der nach Verbrennungsbeginn eingespritzten Kraftstoffmasse. Die anfängliche Bildung von Ruß aus diesem zuletzt eingespritzten Kraftstoff kann erheblich sein, aber im allgemeinen herrschen beim Nebenkammer-Motor ausgezeichnete Bedingungen für dessen schnelle Verbrennung, so lange ausreichend viel Luft zur Verfügung steht. Rauchunterschiede zwischen Wirbel- und Vorkammermotoren sind bei Teillast und Leerlauf auf die etwas unterschiedliche Gemischaufbereitung zurückzuführen, bei Vollast sind sie durch den Luftausnutzungsgrad bestimmt {109}.

#### 2.4.3.1 Physik der Rußbildung

An dieser Stelle müssen die bereits in Kap. 2.4.1 gemachten Ausführungen zur Diffusionstropfenverbrennung um den Gesichtspunkt "Rußbildung" ergänzt werden. Bei der zur Einzeltropfenverbrennung ohne Relativbewegung gehörenden sphärischen Hüllflamme wurde die in Bild I.2-38 dargestellte Rußkonzentrationsentstehung in der Tropfenumgebung angenommen. Beim Diesel-Motor handelt es sich jedoch nicht um die Verbrennung eines einzelnen Tropfens, sondern um die gleichzeitige und zeitlich aufeinander folgende Verbrennung von Millionen einzelner Tropfen, die nicht isoliert betrachtet werden dürfen. Diese Überlegungen führen zum sogenannten "Multi-Windschattenflammenmodell", wie es in Bild I.2-44 dargestellt ist {110}.



**Bild I.2-44:** Zusammenhang zwischen Tropfenabstand und Rußbildung bei Windschattenflammen, [99].

Unter der Annahme unveränderter Relativgeschwindigkeit, aber verschiedenen Tropfenabstandes wird der Brennvorgang auf Rußbildung betrachtet. Zwei hintereinander in den Brennraum eingebrachte Kraftstofftropfen werden, da sie zunächst die gleichen Bedingungen vorfinden, gleichzeitig zünden und zu brennen beginnen. Ist der Abstand der beiden Tropfen sehr groß, wird kaum eine gegenseitige Beeinflussung stattfinden, so daß sogar bei nicht zu großem Luftmangel nur wenig Ruß entsteht, da der in der Flamme entstehende Ruß innerhalb der Flammenfahne weitgehend wieder verbrannt wird {111}.

Wird der Abstand zwischen den beiden Tropfen geringer (B, C, D), werden für die im Abgasschatten des anderen Tropfens liegende Flamme die Verbrennungsbedingungen insofern schlechter, als das Abgas der Luvflamme die Sauerstoffkonzentration in der Leeflamme so verringert, daß diese - obwohl vorgemischt verbrennend - wegen Sauerstoffmangels zu rauchen beginnt, obwohl auf den Gesamtbrennraum bezogen Luftüberschuß herrscht {112}.

Bei noch kleinerem Abstand (E, F) zünden zwar die Tropfen immer noch gleichzeitig, im Fall E erstickt die Leeflamme aufgrund Sauerstoffmangels jedoch wieder, da eine Verbrennung nicht mehr möglich ist, wenn die Sauerstoffkonzentration unter einen be-

stimmten Wert absinkt. Damit wird der Leetropfen mehr oder weniger vollständig in Ruß umgesetzt. Im Fall F gerät er sogar in die Flammenfahne des Luvtropfens und vercrackt, was besonders starke Rußbildung ergibt, zumal der Luvtropfen zusätzlich zur Rußbildung beiträgt, da der in dessen Flamme entstehende Ruß innerhalb der sich nicht mehr ungestört entwickelnden Flammenfahne nicht mehr verbrannt werden kann {112}.

Im Diesel-Motor geschehen Rußbildung und Rußverbrennung weitgehend gleichzeitig, wobei während der Energieumsetzung die Rußbildung quantitativ schneller abläuft als die Rußverbrennung. Während die Rußbildung mit dem Ende der Energieumsetzung im Brennraum beendet ist, erfolgt über diesen Zeitpunkt hinaus noch so lange eine weitere innermotorische Nachverbrennung des Rußes, als Temperatur und Sauerstoffgehalt des Gases ausreichend hoch sind. Der Rußbildungsprozeß und die sofort einsetzende Koagulation des Rußes verlaufen extrem rasch. So ist die Bildung der Rußkoagulate z. B. bei einer Drehzahl von 2700 U/min nach 3 ms, bei 2000 U/min nach 5 ms und bei 1100 U/min nach 10 ms abgeschlossen, was jeweils etwa 50° Kurbelwinkel entspricht {113}.

Die Rußemission hängt im wesentlichen davon ab, wieviele der gebildeten Rußpartikeln oder Kohlenstoffradikale bei den im Brennraum jeweils herrschenden Verhältnissen (Temperatur, Sauerstoffgehalt) infolge Temperaturabsenkung durch die Expansion nicht aufoxidiert werden. Die für das Auftreten der ersten Rußpartikeln benötigte Zeit ist nach Beobachtungen mittels Hochgeschwindigkeits-Flammfotografie mit 0,1 ms außerordentlich kurz {113}.

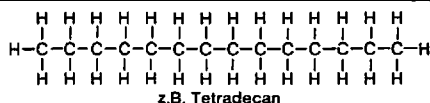
#### 2.4.3.2 Chemie der Rußbildung

Über die Rußentstehung gibt es verschiedene Hypothesen, genaue Einzelheiten über den chemischen Reaktionsablauf fehlen aber noch. Gesichert scheint folgendes: Ruß ist das Ergebnis von Pyrolyse {114}, worunter hier eine Reaktionsfolge aus Dehydrierung, Krackung, Polymerisation und Kondensation mit anschließender Agglomeration zu verstehen ist (ein bereits 1866 von Berthelot vorgeschlagenes Rußbildungsmodell {115}). Die Rußbildung kann über verschiedenartige Zwischenprodukte und verschiedene Reaktionsstufen laufen {116, 117, 118}, wobei elektrische Erscheinungen eine besondere Rolle spielen {119}. Zwischenprodukte besonderer Bedeutung sind Polyzyklen und Polyene, die mit sich verstärkender Rußbildung in wachsender Menge und Molekülgröße in der Flamme auftreten {120}.

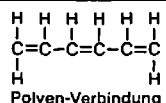
Bei der während der Verbrennung stattfindenden Pyrolyse der vorwiegend paraffinischen Kohlenwasserstoffe des Dieselkraftstoffs findet ein Aufbrechen der zwischen 12 und 22 Kohlenstoffatome enthaltenden Kohlenwasserstoffketten des Dieselkraftstoffs statt, das zu wiederholten Doppelbindungen zwischen den C-Atomen der gespaltenen Restketten führt. Dabei entstehen im einfachsten Fall der Ethen- oder Ethandiffusionsflamme zunächst Ethen ( $H_2C=CH_2$ ), dann Ethin ( $HC\equiv CH$ ) und Butadien ( $H_2C=CH-CH=CH_2$ ) und über die Bildung von Vinylacetylen ( $HC\equiv C-CH=CH_2$ ) und Diacetylen ( $HC\equiv C-C\equiv CH$ ) Polyene mit Dreifachbindungen zwischen den C-Atomen. Die während der Pyrolyse

# Dieselskraftstoff, bestehend aus

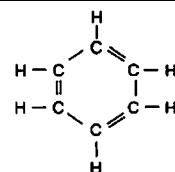
## Alkane (ca. 70%)



## Alkene (ca. 2%)



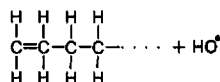
## Aromaten (ca. 20%)



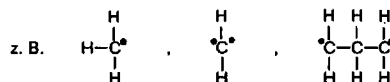
Reaktion ohne O<sub>2</sub>

Reaktion mit O<sub>2</sub>

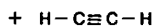
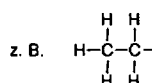
Ungesättigte Kohlenwasserstoffe + Wasserst.-Sauerst.-Radikale



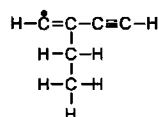
Kohlenwasserstoffradikale



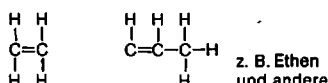
KW Radikale + Ethin



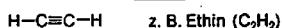
größere KW-Radikale



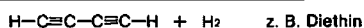
Ungesättigte Verbindungen (Alkene)



KW mit 3-fach-Bindungen (Alkine)

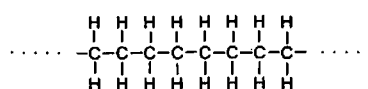


Polyalkine + H<sub>2</sub>



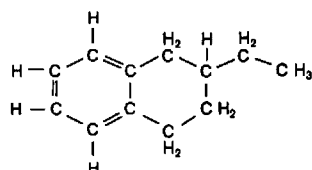
Polymerisation

Polymere



Dehydrierung und Zyklisierung (> 1000 °C)

Kohlenwasserstoffkomplex mit zyklischer Struktur



weitere Dehydrierung

RUSS

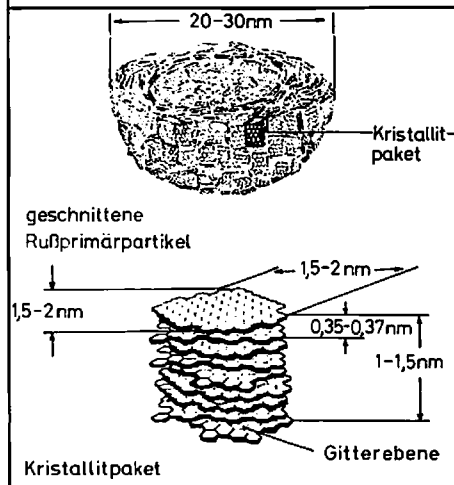


Bild I.2-45: Theoretisches Modell zum Rußbildungsprozeß, nach [121].

entstandenen und daher bereits weitgehend wasserstoffarmen Kohlenwasserstoffverbindungen bilden unter dem dehydrierenden Einfluß der hohen Brennzonen-Temperaturen von über 1000 °C ringförmige, dem Graphitgitter sehr ähnliche molekulare C-Strukturen {113}. Schließlich entstehen nach weiterer Dehydrierung die Ruß-Partikeln. Bild I.2-45 veranschaulicht dieses Modell zum Rußbildungsprozeß.

2.4.3.3 Eigenschaften des Rußes

Der als Schwarzrauch beim Diesel-Motor auftretende Ruß, dessen Eigenschaften in Bild I.2-46 genannt sind, und der nach

Physikalische Eigenschaften	Chemische Eigenschaften
Dichte: $\approx 1.8 \text{ g/cm}^3$ Schmelzpunkt: $\approx 3600 \text{ }^\circ\text{C}$ Siedepunkt: $\approx 3850 \text{ }^\circ\text{C}$ Größenbereich: 0.015 bis 2 (10) $\mu\text{m}$ Maximum bei 0.15 $\mu\text{m}$ Oberfläche: $\approx 110 \text{ m}^2/\text{g}$	Mehr als 90% der Partikeln im Diesel-Abgas bestehen aus Ruß (Rest: 2% S, 1% Fe, 1% Zn, 1-3% H <sub>2</sub> ). Ruß ist inert, geruchlos, in Wasser oder anderen organischen Lösungsmitteln unlöslich. Substanzen reagieren kaum mit Ruß. Ruß kann schon bei 450 °C oxidiert werden, wenn Temperatur lange genug vorhanden ist. Hochadsorbent in der Reihenfolge: Hochsiedende Kohlenwasserstoffe (KW) - niedriger siedende KW - Aldehyde - O <sub>2</sub> -haltige, geruchsbildende Verbindungen - SO <sub>2</sub> -Moleküle - Auffüllen mit Wasser in der Atmosphäre.
Morphologie	
Hauptbestandteil: Sehr feine, tiefschwarze Erstpartikeln, fast rund, $\phi$ 0.01 bis 0.03 $\mu\text{m}$ , wie ein Schwamm zusammenhängend in einer kettenartigen und oft 3-dimensionalen verzweigten Form. Primärpartikeln bilden Aggregatpartikeln.	

Bild I.2-46 genannt sind, und der nach den in Bild I.2-47 zusammengefaßten Merkmalen bewertet werden kann, ist nach röntgenspektroskopischen Untersuchungen 1,2-amorphe Kohle in Form von feinstverteiltem Graphit. Neben dem überwiegenden Anteil an elementarem Kohlenstoff enthalten alle Ruße bis zu 1 % Wasserstoff, Sauerstoff und auch etwas Schwefel.

Bild I.2-46: Charakteristische Eigenschaften des Rußes, nach [122, 123].

Masse und Konzentration	Größen-Verteilung	Oberfläche und Morphologie	Chemische Zusammensetzung
Bewertung: quantitativer Zusammenhänge - des Entstehungsvorganges	Bewertung: - des Wachstums der Primärpartikeln - des Aggregationsvorganges - der toxikologischen Zusammenhänge - der Filtrierbarkeit	Bewertung: - der Reaktionsflächen - der evtl. angelagerten Fremdstoffe - orientierter und amorpher Struktur - der Korrelation Gitterabstände und Entstehungstemperatur - der Gestalt	Bewertung: - der Entstehung der Rußvorläufer - der Anteile organischer u. anorg. Komponenten - des C/H-Verhältnisses - der adsorbierten Stoffe

Wegen starker Koagulationsneigung kann man nicht von einer bestimmten Teilchengröße des Rußes sprechen. Bild I.2-48 und Bild I.2-49 zeigen Rußaggregatpartikeln in unterschiedlicher Vergrößerung. Die kleinsten auf Elektronenmikroskopaufnahmen noch erkennbaren

Bild I.2-47: Rußbewertungsgrößen, nach [124].

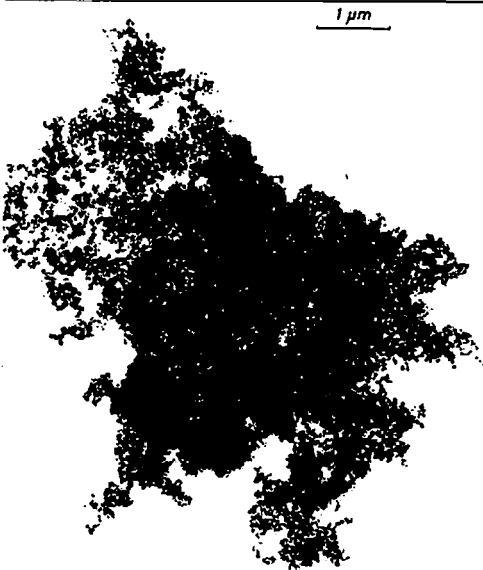
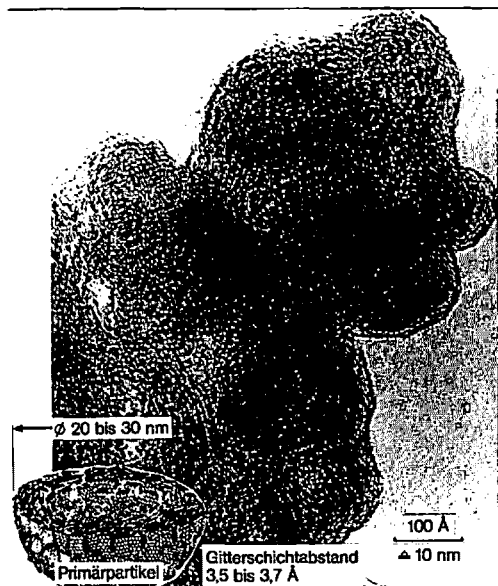


Bild I.2-48: Rußaggregatpartikel von etwa 6  $\mu\text{m}$  Durchmesser (17 000fach vergrößert in Originalaufnahme), [124].

Primärpartikeln sind Kristalle von nahezu kugelförmiger Form mit einem Durchmesser von 0,005 bis 0,03  $\mu\text{m}$  (5 bis 30 nm). Diese Primärpartikeln treten nicht einzeln auf, sondern zu losen Ketten mit räumlichen Verzweigungen agglomeriert. Diese Ketten verbinden sich je nach Druck und Temperatur zu lockeren Aggregatpartikeln von 0,1  $\mu\text{m}$  bis zu 50  $\mu\text{m}$  Größe (Verteilungsmaximum um 0,2  $\mu\text{m}$ ) {127}.

Je höher die Temperatur bei der Rußbildung ist, desto größer werden die Primärpartikeln, und desto mehr entspricht die Orientierung der Gitterebenen der des natürlichen Graphits. Wird der Ruß z. B. aus kohlenstoffhaltigen Substanzen durch Erhitzen



**Bild I.2-49:** Dieselabgasruß-Primärpartikeln (aufgenommen mit dem Elektronen-Durchstrahlungs-Mikroskop EM 10 B von Zeiss; Mikroskopvergrößerung für Originalaufnahme: 400.000fach), [125].

auf relativ niedrige Temperaturen (400 °C) gewonnen, so erhält man ihn in kleinen Kristallen vom Durchmesser 0,002 µm (20 Å) {127}. Bei Temperaturen von 800 °C entsteht eine feste Verfilzung dieser Kristalle, bei Temperaturen von 1500 °C entstehen dichte, aber immer noch regellos orientierte kristalline Einheiten, die aus einigen wenigen "assozierten" Molekülen mit einem Durchmesser von etwas über 0,004 µm (40 Å) aufgebaut sind und den elektrischen Strom bereits gut leiten. Bei Temperaturen von 2500 °C erhält man größere Kristalle von zunehmender Gitterorientierung (künstliches Graphit), die sich nur wenig vom geordneten Gitter des natürlichen Graphits unterscheiden {127}. Sehr wichtig ist die Eigenschaft des Kohlenstoffs, als einziges Element durch Einfach-, Doppel- und Dreifachbindungen mit

sich selbst Ketten und Ringe von beliebiger Länge zu bilden. Die technologischen Eigenschaften der Ruße hängen weitgehend von der Teilchengröße ab {127}.

## 2.5 Vergleich der Emissionsanteile im Abgas von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren

Nachdem in Kap. 2.3 und Kap. 2.4 Entstehung und charakteristische Eigenschaften der Emissionen aus Otto- und Diesel-Motor separat diskutiert wurden, soll abschließend ein direkter Vergleich der ausgestoßenen Schadstoffanteile das "Emissions-Bild" dieser beiden Antriebsarten abrunden. Dieser Vergleich ist in Bild I.2-50 dargestellt.

ECS <sup>1)</sup> Schadstoff	»Baseline« Messungen des CARB und der US-EPA an ungereinigten Fzgn. umgerechnet auf FTP-75 <sup>2)</sup> . [g/m]	Feldüberwachung der US-EPA an Fzgn. der Modelljahre 1966 bis 1968 <sup>3)</sup> . [g/m]	Letztes Modelljahr vor Katalysatoreinsatz (1974). Daimler-Benz Zertifizierungs-Daten <sup>4)</sup> . [g/m]	Erstes Modelljahr mit Katalysatoreinsatz (1975). Daimler-Benz Zertifizierungs-Daten <sup>5)</sup> . [g/m]	Erstes Modelljahr mit Dreiweg-Katalysator (1980). Daimler-Benz Zertifizierungs-Daten <sup>6)</sup> . [g/m]	Ungereinigter Diesel-Motor (vor Modelljahr 1975 <sup>7)</sup> . [g/m]	Diesel-Motor mit HC- und NOx-Kontrolle Modelljahr 1982 <sup>8)</sup> . [g/m]
HC	15 bis 32	7.6 bis 8.9	2.2 bis 2.4	0.17 bis 0.20	0.2 bis 0.3	0.6 bis 1.2	0.1 bis 0.3
CO	90 bis 130	87 bis 110	15 bis 16	0.7 bis 1.1	2.0 bis 4.0	1.0 bis 2.0	0.8 bis 1.3
NO <sub>x</sub>	4.1 bis 4.4	2.8 bis 4.0	2.0 bis 2.3	1.1 bis 1.2	0.15 bis 0.45	1.3 bis 1.8	1.1 bis 1.2
PM	-	-	-	-	-	0.5 bis 0.8	0.3 bis 0.5
Motor	Otto-Motor <sup>12)</sup>		Diesel-Motor <sup>12)</sup>			1) ECS = Emission Control System 2) nach [399, 400] 3) nach [430] 4) 4,5l-Motor mit ECS: Engine Modification (EM), Exhaust Gas Recirculation (EGR) und Air Injection (AI) 5) 4,5l-Motor mit ECS: EM, EGR, AI, Oxidation Catalyst (OC) 6) 4,5l-Motor mit ECS: EM, AI, Three Way Catalyst (TWC) und Oxygen Sensor (OS). 7) Vor Modelljahr 1975 gab es keine Gesetzgebung für die gasförmigen Emissionen eines Pkw-Diesel-Motors 8) 2.4 l-Motor mit ECS: Reverse Flow Damping Valve (RFDV) und EGR 9) ECS: EGR, OC 10) Wirbelkammer-Motor 11) Vorkammer-Motor 12) nach [128] 13) nach [129] 14) mit »2D-Emissionstest«-Kraftstoff	
Schadstoff	VW-Rabbit Modelljahr 1977 <sup>9)</sup> Hubraum: 1,59 l	Oldsmobile-Cutlass Modelljahr 1977 <sup>9)</sup> Hubraum: 4,26 l	VW-Rabbit Modelljahr 1977 <sup>10)</sup> Hubraum: 1,47 l	Oldsmobile Cutlass Modelljahr 1976 <sup>10)</sup> Hubraum: 5,74 l	Mercedes-Benz 240 D Modelljahr 1976 <sup>11) 13)</sup> Hubraum: 2,4 l		
HC [g/m]	0.23	0.39	0.37	0.76	≈ 0.20		
CO [g/m]	3.70	2.16	0.79	2.00	≈ 0.92		
NO <sub>x</sub> [g/m]	1.01	1.37	0.87	1.13	≈ 1.26		
PM [g/m]	6.18	9.061	0.293	0.922	≈ 0.54		
B(a)P [µg/m]	0.26	0.27	4.3	7.3	≈ 0.61		
SO <sub>4</sub> [mg/m]	≈ 0.2	≈ 2.3	≈ 6	≈ 16	≈ 14		
Aldehyde [mg/m]	≈ 62	≈ 22	≈ 64	≈ 132	≈ 29		

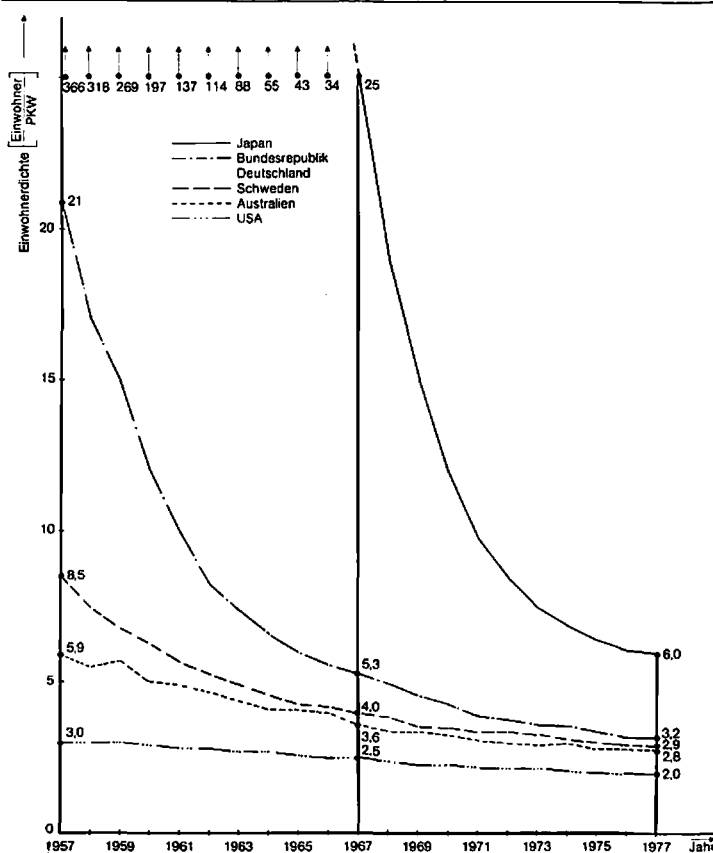
**Bild I. 2-50:** Vergleich der Schadstoff-Emissionen von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren in der FTP-75, nach [128, 129].



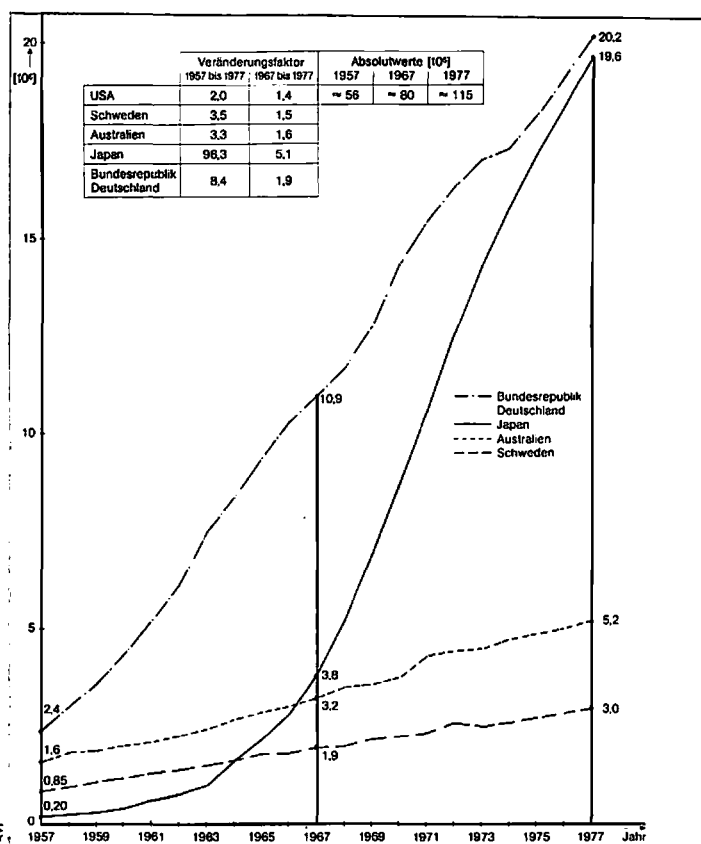
## 2.6 Die Automobil-Situation in ausgewählten Exportländern

Vielfach ist es das Ziel der Emissionskontrollgesetzgebung eines Landes, durch gestaffelte Absenkungsraten der Grenzwerte für Emissionsquellen ein bestimmtes Luftqualitätsniveau wieder zu erreichen, das zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Vergangenheit vorgelegen hatte und als tolerierbar angesehen werden kann. Für die mobile Emissionsquelle "Automobil" bedeutet dies, daß die Gesamtemission von Schadstoffen trotz der ständig steigenden Fahrzeugpopulation durch den Einsatz immer wirksamerer Emissionskontrollsysteme ausgeglichen werden muß.

In diesem Zusammenhang ist es interessant, einen Blick auf die Automobil-Situation der in der Arbeit behandelten Exportländer USA, Japan und Schweden zu werfen. (Als Zusatzinformation sind in den Darstellungen auch die Gegebenheiten in Australien und der Bundesrepublik Deutschland veranschaulicht, wobei auf diese beiden Länder hier jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.) Die in den nachstehend besprochenen Bildern dargestellten Entwicklungen geben nicht nur Einblick in die jeweiligen nationalen Tendenzen (wie z. B. in die Veränderung der Einwohnerdichte, bezogen auf den Fahrzeugbestand, in Bild I.2-51 oder Bild I.2-52), sondern spiegeln durch Darstellung der Import- und Exportentwicklung die kraftfahrzeugbezogenen Handelsbilanzen der hier behandelten Länder wider. Die Kenntnis dieser Entwicklungen ermöglicht ein besseres Verständnis wirtschaftspolitischer Gegebenheiten und Handlungen der angesprochenen Länder unter Berücksichtigung des Themenkomplexes eigener und fremder Emissionskontrollgesetzgebungen.



**Bild I.2-51:** Fahrzeugdichte in verschiedenen Ländern mit Emissionskontrollgesetzgebung für PKW (jeweils am Jahresende), nach [130].



**Bild I.2-52:** PKW-Bestand in verschiedenen Ländern mit Emissionskontrollgesetzgebung für PKW (jeweils am Jahresende), nach [131].

### 2.6.1 Die Automobil-Situation in den USA

Im Vergleich mit der gesamten US-Industrieproduktion verhielt sich das Wachstum der Automobilindustrie sehr zyklisch. Teilweise läßt sich diese Erscheinung dadurch er-

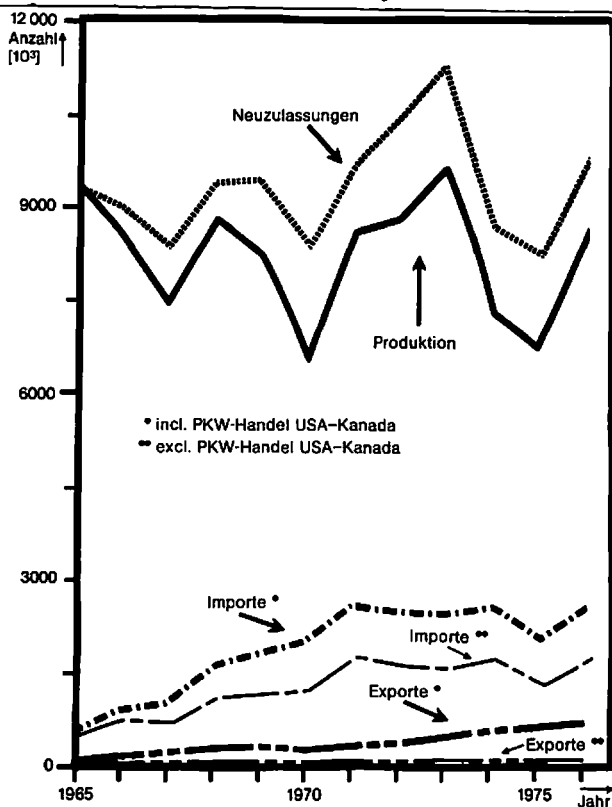


Bild I.2-53: Entwicklung von Neuzulassungen, Produktion, Import und Export von PKW in den USA für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

klären, daß der Kraftfahrzeugabsatz besonders sensibel auf Veränderungen des Realeinkommens reagiert.

In Bild I.2-53 kann der Verlauf von Produktion und Neuzulassungen über 11 Jahre verfolgt werden. Während im Zeitraum von 1965 bis 1971 die Neufahrzeug-Zulassungen recht gleichmäßig um einen Mittelwert von etwa 9 Millionen Einheiten schwankten, stiegen sie im Jahr 1973 auf eine Rekordhöhe von rund 11,4 Millionen Fahrzeugen an. Von Ende 1973 bis Ende 1974 erfolgte dann jedoch ein außergewöhnlich starker Abfall der Pkw-Verkaufszahlen: Die Neuzulassungen sanken gegenüber 1973 um 23 % (wobei im 4. Quartal 1974 31 % weniger Neuzulassungen als im 3. Quartal des gleichen Jahres zu verzeichnen waren)!

Die Produktion sank 1974 um 21 % unter das 1973er Niveau (größter prozentualer Produktionsabfall seit 1958), wobei sich besonders im Produktionsrückgang des 1. Quartals (28 % unter 4. Quartal 1973) die Auswirkungen des Öl-Embargos von Ende 1973 zeigen.

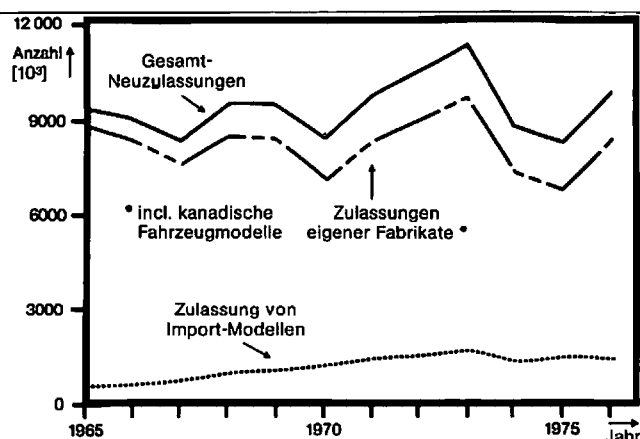
Das Nachlassen der Verkäufe von 1974er Modellen, das über das Maß der normalen zyklischen Schwankungen auf dem Automobilmarkt deutlich hinausging, lag in nahezu gleichzeitigem (!) Eintreffen mehrerer ungünstiger Bedingungen begründet [133], wie z. B.:

- Verringerung des Realeinkommens
- Höchstwerte für Zinsen
- gestiegene Kraftfahrzeugpreise
- gestiegene Benzinpreise
- sinkendes Vertrauen in die Wirtschaft
- Verbraucherorientierung auf wirtschaftliche Fahrzeuge  
(von der US-Autoindustrie nicht angemessen erkannt)

Die Auswirkungen einer schlechten Lage der Automobilindustrie auf die gesamte Volkswirtschaft der USA sind gravierend (so wurden z. B. 1973 mehr als 20 % des gesamten in den USA verbrauchten Stahls von der Automobilindustrie verwendet). Experten schätzen, daß für jeden Dollar Verlust im Fahrzeugverkauf das Bruttosozialprodukt um zwei Dollar verringert wird [134].

### 2.6.1.1 Die Importsituation der USA

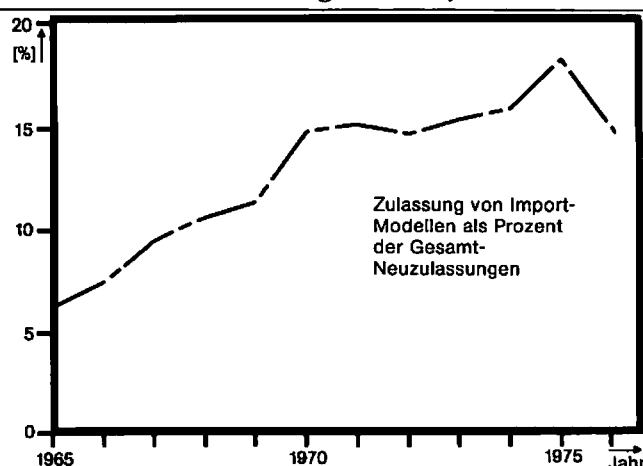
In Rezessionszeiten sanken in den USA nicht nur die Gesamtfahrzeugverkäufe, sondern es zeigte sich meist gleichzeitig eine Tendenzverschiebung in der Nachfrage zu bil-



**Bild I.2-54:** Neuzulassungen von PKW eigener Fertigung und von Import-Modellen in den USA für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

Produkten gingen. Nimmt man 1966 als Basis, so waren die Importe mit 46 % an dem über diese Jahre erfolgenden Verkaufsanstieg verantwortlich [135].

Als Reaktion auf diesen steigenden Marktanteil der Importe wurden bereits 1974/75 Gesetzesentwürfe eingebracht, deren Anwendung sich restriktiv für Fahrzeugeinfuhren

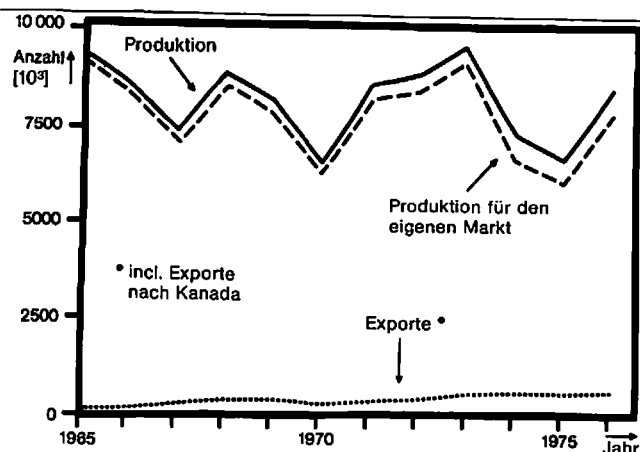


**Bild I.2-55:** PKW-Import-Verhältnis der USA für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

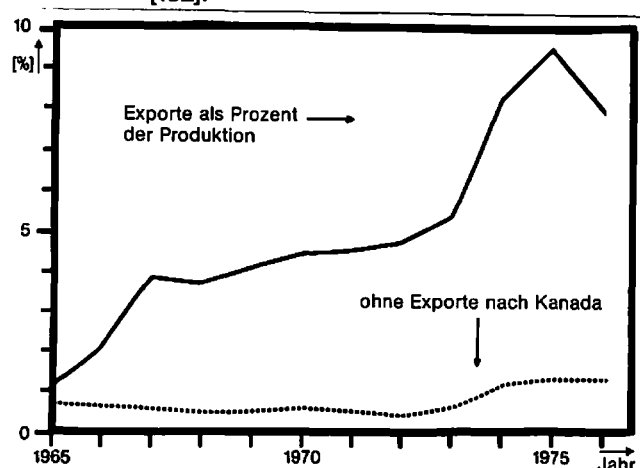
1973/74 anzulasten). Im Zusammenhang mit der in Kap. 2.6.2.2 beschriebenen japanischen Exportsituation wird auf diese Tendenzen zum Schutz der US-Autoindustrie noch einmal im Detail eingegangen.

### 2.6.1.2 Die Exportsituation der USA

Die USA haben - im Gegensatz zu den übrigen hier verglichenen Ländern - Automobile traditionell fast ausschließlich (> 90 %) für den einheimischen Verbrauch produziert, wie Bild I.2-56 veranschaulicht. So bewegten sich die Exportzahlen bis 1973 stets unter 500.000 Einheiten/Jahr [137]. Von 1953 bis 1967 lag der Exportanteil im Mittel nur bei 4 % und stieg von 1967 bis 1973 (besonders wegen erhöhter Exporte nach Kanada) auf 4,5 %. Der Verlauf des Exportverhältnisses (Exporte als Prozent der Produktion) ist in Bild I.2-57 dargestellt.



**Bild I.2-56:** Produktion und Export von PKW in den USA für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].



**Bild I.2-57:** PKW-Export-Verhältnis der USA für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

In Länder außerhalb Kanadas, das 1976  $\approx$  680.000 Fahrzeuge erhielt (doppelt so viele wie 1971), wurden 1976  $\approx$  107.000 Einheiten exportiert, was einer Verdreifachung der im Zeitraum 1971 bis 1976 exportierten Anzahl bedeutet. Diese Erhöhung ist auf das Ansteigen der US-Exporte in die in der OPEC ("Organization of the Petroleum Exporting Countries") zusammengeschlossenen Länder zurückzuführen. So verdreifachte sich von 1971 bis 1976 der US Auto-Export nach Kuwait und Bahrain, vervierfachte sich in den Iran, stieg um den Faktor 6 in die Vereinigten Arabischen Emirate und erhöhte sich etwa 40fach nach Saudi-Arabien, das nach Kanada der größte Exportmarkt der USA mit  $\approx$  27.000 Fahrzeugen im Jahre 1976 war [137].

Exporte, in andere als die obigen Länder werden als problematisch angesehen, da die US-Automobilindustrie (zumindest bis 1976) weit stärker durch Werke im Ausland ver-

treten war, als dies bei anderen Ländern der Fall ist. Jede Bemühung zur Steigerung des Exports seitens der USA würde, selbst wenn eine solche Steigerung trotz der unvorteilhaften weltwirtschaftlichen Situation möglich wäre, zumindest teilweise zu Lasten der im Ausland produzierenden (zu den US-Firmen gehörenden) Werke gehen [138]. Diese Zusammenhänge zeigen, daß der Export für die USA (im Gegensatz z. B. zu Japan) sinkenden oder stagnierenden Inlandsabsatz nicht kompensieren konnte.

#### 2.6.1.3 Emissionskontrollgesetzgebung und Automobil-Situation in den USA

Ob die US-Emissionskontrollgesetzgebung über ihren eigentlichen Zweck hinaus auch als Instrument zum Schutz der einheimischen Automobilindustrie gedacht war, ist unklar. Andererseits lassen gewisse Entwicklungen die Deutung zu, daß sie de facto (zumindest zeitweise) protektionistische Wirkung gehabt hat.

Ein Blick auf die in Teil II dargestellte historische Entwicklung dieser Gesetzgebung zeigt, daß der Zeitraum von 1963 bis 1970, der drei rezessive Phasen für die einheimische Automobilindustrie bei gleichzeitiger stetiger Aufwärtsbewegung der Importanteile brachte, auch von der schärfsten Progression auf dem Gebiet der Emissionskontrollvorschriften gekennzeichnet war. Während dann ab 1970 eine starke Erholung der einheimischen Produktions- und Verkaufssituation eintrat, die bis zu den Rekordwerten von 1973 anhielt, brach der starke Aufwärtstrend bei den Importen Ende 1971 zunächst ab.

Andererseits hat die Emissionskontrollgesetzgebung nicht nur die Situation der Importeure belastet, sondern auch der einheimischen Industrie hohe Kosten verursacht, die im allgemeinen über Preiserhöhungen an den Verbraucher weitergegeben werden. Die "Kaufwelle" in den ersten drei Quartalen von 1974 wird weitgehend damit erklärt, daß man 1975er Fahrzeug-Modelle erwartete, die nicht nur durch Einsatz der Katalysator-technologie deutlich teurer würden, sondern auch noch Unsicherheiten wegen des zu ihrem Betrieb notwendig werdenden bleifreien Kraftstoffes auslösten {139}. Die verbraucherseitigen Bedenken bestanden nicht zu Unrecht, wie das Problem des "fuel switching" (Verwendung des gerade verfügbaren Kraftstoffs ohne Rücksicht auf dessen Bleigehalt) bei der später zeitweise nicht ausreichenden Verfügbarkeit von bleifreiem Kraftstoff beweist.

Größe und Bedeutung des US-Marktes dürften jedoch sicherstellen, daß bezüglich des Automobils ein wettbewerbsintensives Wirtschaftsgeschehen auch unter der in diesem Land entstandenen strengen Emissionskontrollgesetzgebung und den dadurch für alle Beteiligten eingetretenen wirtschaftlichen Belastungen erhalten bleibt.

### 2.6.2 Die Automobil-Situation in Japan

Japans Automobilindustrie hat seit  $\approx$  1960 einen spektakulären Aufschwung und eine enorme Steigerung seiner Konkurrenzfähigkeit erlebt. Lag Japan 1961 noch an 5. Stelle der Weltproduktion von Motorfahrzeugen, so erreichte es 1964 den 4. Platz, 1966 den 3. Platz, 1967 den 2. Platz und verdrängte Mitte 1980 sogar die USA von Platz 1 {140, 141}. Dieser stetige Anstieg des Produktionsvolumens ist in Bild I.2-58 veranschaulicht.

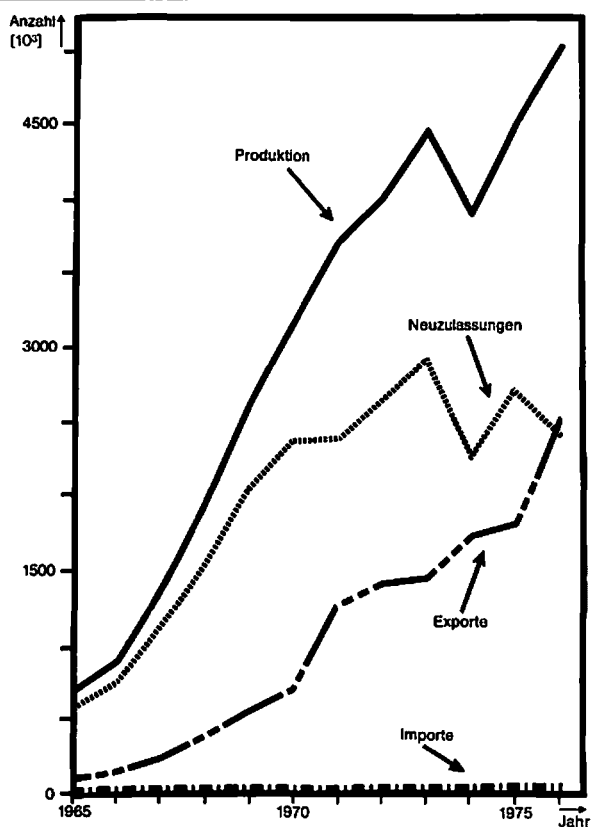


Bild I.2-58: Entwicklung von Neuzulassungen, Produktion, Import und Export von PKW in Japan für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

Der erste deutliche Einbruch im stetigen Aufwärtstrend (mit einer mittleren jährlichen Steigerung von  $> 22\%$  von 1965 bis 1973) ereignete sich - wie dieses Bild zeigt - im Jahre 1974, wo die Inlandsnachfrage für Automobile um  $22\%$  gegenüber dem Vorjahr absank (und das Absatzniveau damit etwa auf den Stand von 1968 zurückfiel) {142, 143}. Ab dieser Zeit hat sich die Inlandsnachfrage nicht mehr auf die Vor-1973-Verhältnisse erholt. Hierfür waren nicht nur die gleichen Bedingungen verantwortlich, die weltweit eine Auto-Rezession verursacht haben, sondern auch rein Japan-spezifische sozio-ökonomische Faktoren kamen zum Tragen {142}.

Wie in anderen Ländern (außer in Schweden) hielten sich die Verbraucher 1974

und 1975 wegen der mit der Energiekrise verbundenen Unsicherheiten und der folgenden Verlangsamung des Wirtschaftswachstums von Käufen zurück. Weiterhin wurde die Inlandsnachfrage durch Absinken des Realeinkommens sowie Ansteigen der Anschaffungs- und Betriebskosten für ein Automobil abgeschwächt. Die "Auto-Kosten" waren um  $\approx 30\%$  gestiegen, Steuererhöhungen und verteuerte Kredite taten ein übriges [142].

Zusätzlich aber begann Japan die Folgen steigender Fahrzeugpopulation auf begrenztem Raum zu spüren [142]. Bild I.2-51 zeigt die schnelle Veränderung der Einwohnerdichte von 366 Einwohnern/Fahrzeug im Jahre 1957 auf 25 für 1967 und schließlich 6 für 1977. Die Verkehrsverhältnisse wurden so schlecht, daß sich potentielle Fahrzeugkäufer öffentlichen Verkehrsmitteln zuwandten [142].

### 2.6.2.1 Die Importsituation in Japan

Unter den 8 wichtigsten automobilproduzierenden Ländern der freien Welt (USA, CDN, J, D, F, GB, I und S mit zusammen etwa 85 % der Weltproduktion) ist Japan bei weitem der kleinste Pkw-Importeur. Selbst noch 1976 lag die "import penetration" für ausländische Pkw im japanischen Markt, wie Bild I.2-59 zeigt, nur bei  $\approx 2\%$  [144].

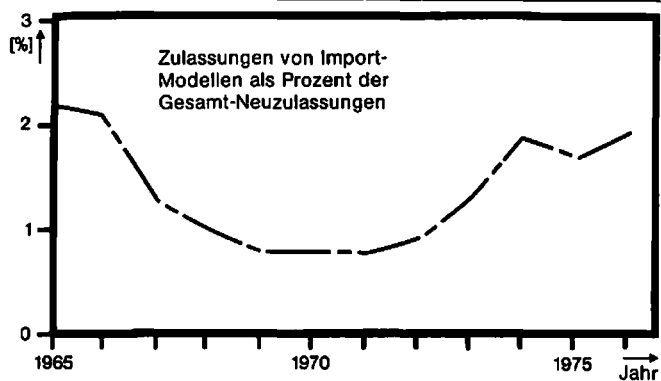


Bild I.2-59: PKW-Import-Verhältnis von Japan für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

Gründe hierfür liegen einerseits in dem relativ kostenintensiven Weg, den ein Importfahrzeug von der Einfuhr bis zum Kunden durchläuft [144], andererseits waren die gesetzlichen Zulassungsvorschriften jahrelang eine Handelsbarriere wie in Kap. 2.6.2.3 näher angesprochen und in Teil IV dieser Arbeit detailliert gezeigt wird.

### 2.6.2.2 Die Exportsituation in Japan

Im extremen Gegensatz zum nahezu unbedeutenden Importgeschäft steht der japanische Automobilexport. Ein wesentlicher Grund für den in Kap. 2.6.2 beschriebenen Aufstieg in der Gesamtfahrzeugproduktion liegt in dem auch in Bild I.2-60 zum Ausdruck kommenden steigenden Einsatz und Erfolg der japanischen Produkte auf den Weltmärkten.

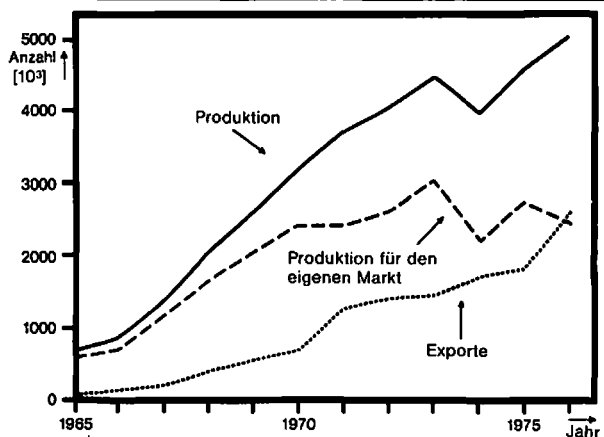


Bild I.2-60: Produktion und Export von PKW in Japan für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

Mitte der 60er Jahre noch unter relativ kleinen Exporteuren rangierend, wurde Japan 1970 bereits zum drittgrößten automobilexportierenden Land der Welt, verbesserte die Situation 1971 auf Platz zwei und erreichte schon 1974 die Spitzenposition [140].

Die Tatsache, daß die Fahrzeugproduktion für den einheimischen Markt ab 1970 praktisch konstant blieb, die Gesamtproduk-

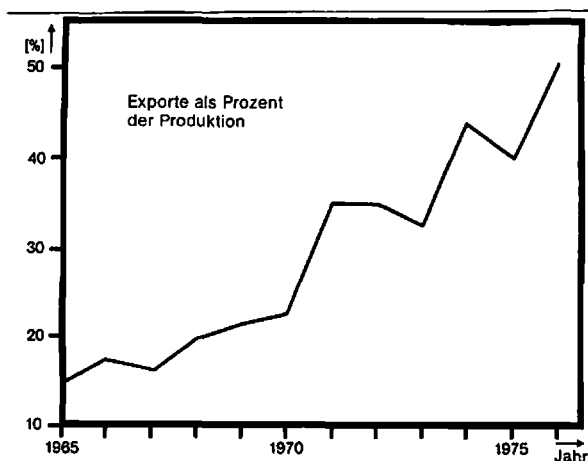


Bild I.2-61: PKW-Export-Verhältnis von Japan für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

tion bis 1976 aber um 60 % anstieg, zeigt, daß die Produktionssteigerung für den Export verwendet wurde. Während dieser noch 1970 "nur" etwa 20 % betrug, wurden 1973 etwa 30 % und 1976 etwa 50 % der Gesamtproduktion exportiert. Der eindrucksvolle Verlauf des Export-Verhältnisses ist in Bild I.2-61 dargestellt. Einer der am schnellsten wachsenden Märkte für Japan war in den Jahren nach der 1973er Ölkrise Saudi-Arabien, das 1976 745.000 Fahrzeuge aus Japan einfuhrte. Das waren etwa doppelt so

viele wie 1975 und 18mal so viele wie 1972 {144}.

Betrug der Anteil der japanischen Auto-Hersteller am gesamten Importgeschehen der USA 1965 noch weniger als 6 %, so lag dieser Anteil 1973 bei 40 % (1974 gleichauf mit deutschen Fahrzeugen bei 42 %) und 1976 bei 62 % {144}. Die japanischen Pkw hatten hierbei 1969 nur einen 2%igen Marktanteil auf dem US-Markt, steigerten diesen jedoch bis 1979 auf 16,6 % und erreichten im April 1980 schließlich 21,2 %. Die Erfolge auf dem "truck"-Markt (Nutzfahrzeug-Markt) waren nicht weniger eindrucksvoll {145}.

Diese Entwicklung löste schließlich im Frühjahr 1980 deutliche Gegenreaktionen sowohl bei der US-Regierung, der Autoarbeiter-Gewerkschaft UAW ("United Auto Workers") und der US-Automobilindustrie aus. Im Laufe der weiteren Diskussionen über Umfang und Ursache der sich zunehmend verschlechternden Lage der US-Autoindustrie teilten sich die Meinungen zwischen den Befürwortern des "offenen Marktes", (z. B. Präsident Carter) und jenen, die Forderungen nach Importquoten erhoben, (z. B. die UAW). Während letztere den freien Importen (besonders aus Japan) die Schuld an der Situation der US-Autoindustrie mit derzeit (Mitte 1980) 300.000 Arbeitslosen (700.000, wenn autoindustrieverbundene Bereiche mitgezählt werden {146}) und zahlreichen geschlossenen Fabriken gaben, wiesen nicht nur die besonders hart attackierten Japaner, sondern auch US-Handelsexperten darauf hin, daß

- die augenblicklichen Probleme nicht als eine Konfrontation zwischen Importeuren und einheimischen Herstellern, sondern als Entscheidung zwischen großen und kleinen Automobilen anzusehen sei {147}, und daß
- Protektionismus lediglich eine ineffiziente Produktion schützen und damit verlängern sowie die Inflation verstärken, den Lebensstandard in den USA senken und generell das Abgleiten in eine immer weniger konkurrenzfähige Situation fördern würde {148}.

Wie in {148} weiter ausgeführt wird, würde Protektionismus im einzelnen

- keine Erhöhung der Verkäufe einheimischer Fahrzeuge bringen, da die US-Autoindustrie noch nicht in der Lage sei, kleine verbrauchsgünstige Fahrzeuge zu bauen (und würde damit auch das Arbeitslosenproblem nicht lösen),

- die Preise kleiner Fahrzeuge ansteigen lassen, da ein echter Mangel entstünde,
- die Inflation begünstigen (der "Council of Economic Advisors" schätzte, daß Import-Restriktionen  $2 \cdot 10^9$  US \$ jährlich zur Inflationsrate beitragen würden) und
- Maßnahmen zur Energieeinsparung beeinträchtigen, da weniger verbrauchsgünstige Fahrzeuge in Betrieb kämen {149}.

Besonders die letztgenannte "Energieeinsparung" lenkte vom direkten Konflikt mit den Importeuren ab und führte zur Betrachtung US-interner Belastungen der Autoindustrie. Hierbei konzentrierten sich die Gedanken auf Themen wie z. B.:

- Notwendigkeit des Beginns einer "de-regulation" der Automobilindustrie, d. h. Entlastung von vielen Vorschriften auf Sicherheits-, Kraftstoffverbrauchs- und Emissionskontrollseite {150, 151, 152}
- Konzentration auf den Konflikt zwischen Kraftstoffverbrauch und Emissionskontrolle {153} sowie
- rascher Wiederherstellung der Konkurrenzfähigkeit und technologischen Führungsrolle der US-Autoindustrie {154}.

Am 14. Mai 1980 traf Präsident Carter führende Persönlichkeiten der US-Autoindustrie sowie von "VW of America", um deren Vorstellungen anzuhören. Er sagte rasche Antwort zu und informierte Detroit Mitte Juli über geplante Erleichterungen. Diese enthielten keine Import-Restriktionen. Auf dem Gebiet der Emissionskontrollgesetzgebung sollte eine Erleichterung von Zulassungs-Forderungen für geographische Gebiete in bestimmter Höhenlage der Industrie  $500 \cdot 10^6$  US \$ sparen {155}.

Eine Entscheidung über Import-Quoten oder ähnliche direkt gegen die Importeure gerichteten Maßnahmen sollte dem Ergebnis einer ITC-("International Trade Commission")-Untersuchung vorbehalten bleiben, die aufgrund einer Klage der UAW-Gewerkschaft vom 12. Juni 1980 eingeleitet wurde. Die ITC ist gesetzlich verpflichtet, dem Präsidenten der USA eine Empfehlung zur Eindämmung der Importe abzugeben, wenn sie den von der UAW und auch von Ford erhobenen Vorwurf, daß die einheimische Industrie durch ausländische Konkurrenz ernsthaft geschädigt sei, bestätigt findet. Die ITC-Entscheidung war für den 11. November 1980 angekündigt {156}. Am 8. Oktober hat die ITC ein Hearing in Washington abgehalten, zu dem wichtige Persönlichkeiten der japanischen Autoindustrie aussagten, um den obengenannten Vorwurf zu entkräften {157, 158}.

Wie in {159} berichtet wird, fiel die ITC-Entscheidung schließlich mit 3 : 2 Stimmen gegen Import-Restriktionen aus. Die Regierung von Präsident Carter wurde dadurch auch daran gehindert, mit den Japanern über freiwillige Vereinbarungen (zur Beschränkung der japanischen Exporte in die USA) zu verhandeln.

Trotz dieses Abstimmungsergebnisses, das von den Importeuren als "gute Nachricht für den freien Handel und den amerikanischen Verbraucher" bezeichnet wurde {159}, betonte die ITC, daß "man zwar glaube, daß die Importe eine Bedrohung für die US-Autoindustrie darstellen würden, daß man aber aufgrund des "Trade Act 1974" (Sec.



201), bekannt als "escape clause" nicht für die Antragsteller (Ford, UAW) stimmen konnte". Dieses Gesetz

"requires proof that imports are the substantial cause of injury or pose a serious threat of injury in the future before the US-ITC can recommend import relief" {160},

und der geforderte Beweis war nicht erbracht worden.

In Japan haben die JAW ("Japan Auto Workers"-Gewerkschaft) sowie das MITI ("Ministry of International Trade and Industry") bereits auf den drohenden Protektionismus der USA reagiert. Die JAW empfahl den japanischen Herstellern, mehr in den USA zu produzieren und folgte damit den Vorschlägen von Präsident Carter auf dem europäischen "Wirtschafts-Gipfel" in Venedig am 22.06.80. Das MITI kündigte (nach dem Besuch Präsident Carters am 09.07.1980 in Tokyo) am 11.07.1980 offiziell an, daß Japan keine Pläne habe, die inländischen Produktionskapazitäten während der nächsten 7 Jahre so zu erweitern, daß die 1980er Exportquote von  $\approx$  2 Millionen Fahrzeugen in die USA wesentlich überschritten wird {161} (mit diesem Status hatte Japan die USA gerade von Platz 1 der Weltrangliste Kfz-produzierender Staaten verdrängt {162}).

Als ein Versuch zur Lösung des durch das Zusammentreffen hoher japanischer Importe und momentaner Wettbewerbsunfähigkeit der US-Autoindustrie entstandenen Problems können die ab Mitte 1980 in den USA z. B. von Nissan und Honda eingerichteten Produktionsstätten japanischer Autohersteller sowie Pläne gemeinsamer Produktion japanischer und amerikanischer Autohersteller (Ford/Toyota) angesehen werden. Unbeantwortet bleiben jedoch einige wichtige Fragen, wie z. B.:

- Wird die Ansiedlung japanischer Hersteller in den USA nicht zu einem Überangebot an Produktionskapazität für kleine Automobile und damit zur Verringerung der Gewinnmöglichkeiten mit sogenannten "downsized" einheimischen Fahrzeugen führen {163}?
- Werden die Fahrzeugkäufer zu US-Produkten zurückkehren, wenn - etwa ab 1985 - die US-Autohersteller ebenfalls ein umfangreiches Kleinwagenprogramm anbieten, oder werden die US-Hersteller mit ihren Kleinwagen nur in ein gegenseitiges Konkurrenzverhältnis geraten (in diesem Fall bliebe den USA nur das Mittel einer bedeutenden Importbeschränkung zum Schutz ihrer Autoindustrie) {163}?

#### 2.6.2.3 Emissionskontrollgesetzgebung und Automobil-Situation in Japan

Die Emissionskontrollgesetzgebung in Japan hat nicht nur der einheimischen Industrie hohe Kosten verursacht und damit über den Weg der Kostenweitergabe an den Kunden, d. h. Kaufpreiserhöhung der Fahrzeuge, zur rezessiven Tendenz ab 1973 im Inland beigetragen, sondern vor allem den Importeuren große Probleme bereitet.

Wie aus Teil IV dieser Arbeit ersichtlich, entwickelte sich die japanische Emissionskontrollgesetzgebung einerseits zur zweitschärfsten der Welt (nach den USA und

Kalifornien), sie hat jedoch aufgrund der zusätzlichen Sprach- und Kommunikationsprobleme weit mehr als letztgenannte ein echtes Handelshemmnis bedeutet. Jahrelang war die "Emissions-Zulassung" in Japan extrem schwierig, ehe nach und nach Verständigungsschwierigkeiten abgebaut und gesetzliche Erleichterungen eingeführt wurden. Einen gewissen "schonenden" Effekt hatten allerdings die für Importeure meist mit zeitlichem Versatz zum Einsatz gelangenden Grenzwerte und deren Verschärfungsstufen. Die obengenannten Erleichterungen wurden erst unter starkem Druck ausländischer Regierungen und aufgrund des japanischen Bestrebens, einer eigenen weiteren Steigerung der Marktanteile im Ausland keine Probleme zu bereiten, ermöglicht.

### 2.6.3 Die Automobil-Situation in Schweden

Schwedens Automobilindustrie ist die kleinste im Vergleich der 8 in Kap. 2.6.2.1 genannten Länder. Deutete sich noch in den 60er Jahren eine vielversprechende Zukunft an (Bild I.2-62 zeigt hohe Wachstumsraten in Produktion und Export bei konstanten oder sinkenden Importen), so konnte die Autoindustrie diese Entwicklung in den 70er Jahren nicht fortsetzen. Durch gestiegene Kosten, unerwartet langsames Wachstum des Exportmarktes, Haldenbildung und Import-Konkurrenz hatten die schwedischen Autohersteller 1976 kaum Anteil an der wirtschaftlichen Aufwärtsbewegung anderer autoproduzierender Länder {164}.

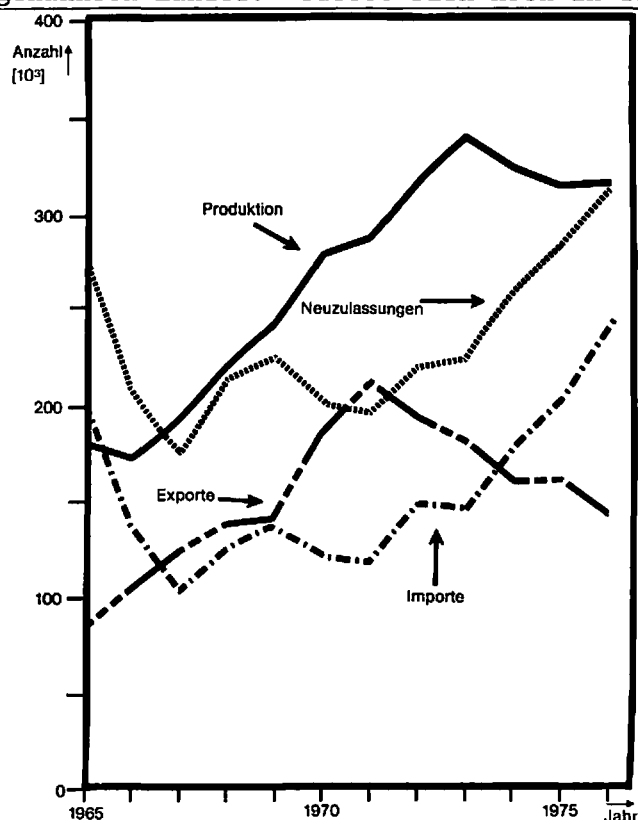


Bild I.2-62: Entwicklung von Neuzulassungen, Produktion, Import und Export von PKW in Schweden für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

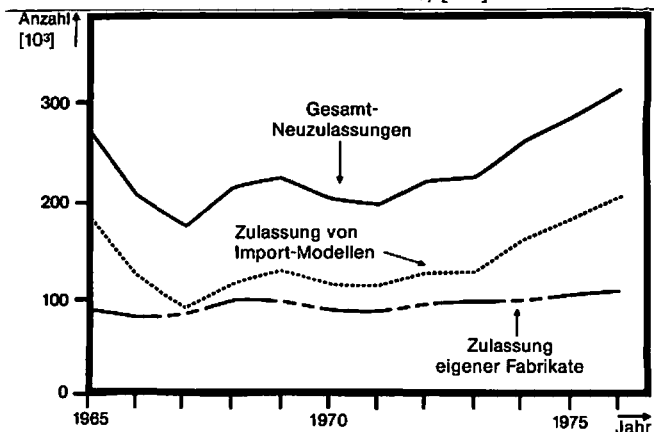


Bild I.2-63: Neuzulassungen von PKW in Schweden für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

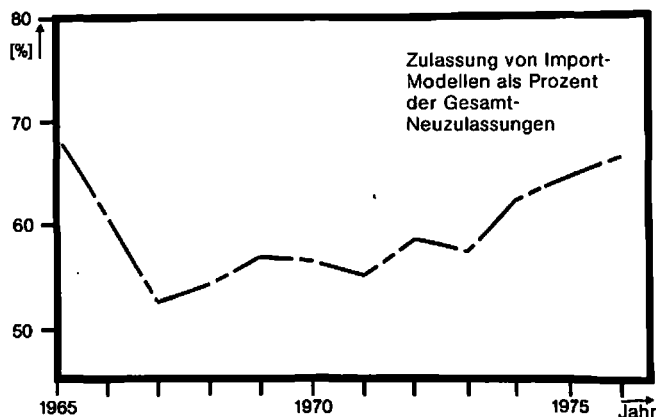
Wie Bild I.2-51 zum Thema Einwohnerdichte zeigt, nähert sich der Inlandsmarkt seiner Sättigung, so daß bald der Ersatz verschrotteter Automobile die Hauptnachfragequelle sein dürfte (1974/75 wurden bereits mehr als 60 % der Neuzulassungen zum Ersatz verschrotteter Fahrzeuge verwendet) {165}.

Aufgrund der sehr guten wirtschaftlichen Situation Schwedens litt die einheimische Automobilindustrie nicht nennenswert unter den verschlechterten weltwirtschaftlichen Bedingungen von 1974. Entgegen anderen, um eine Inflation besorgten Regierungen, stimulierte die schwedische Regierung die Inlandsnachfrage, um den

durch die Ölpreiserhöhung verursachten Wirtschaftsabschwung aufzufangen {166}. Die eingeleiteten Maßnahmen wirkten, und der private Verbrauch stieg stark an. Dies kam jedoch der einheimischen Automobilindustrie 1974 und 1975 nur in geringerem Maße zugute, da – wie aus Bild I.2-63 zu ersehen ist – bevorzugt Import-Fahrzeuge gekauft wurden {167}.

### 2.6.3.1 Die Importsituation in Schweden

Importe liegen traditionsgemäß auf dem schwedischen Automobilmarkt bei > 50 % Anteil {167}. In den meisten Jahren lag die "import penetration" – wie Bild I.2-64 zeigt – für Pkw bei etwa 60 %, d. h. der größte Teil der eigenen Produktion wurde exportiert



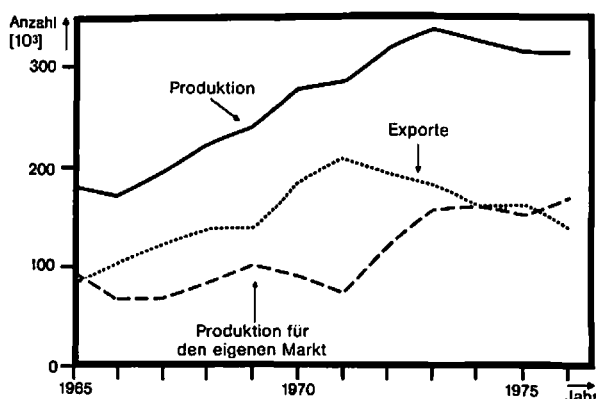
**Bild I.2-64:** PKW-Import-Verhältnis von Schweden für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

und der größte Teil des Inlandsbedarfs durch Importe befriedigt. Ein Hauptgrund dafür liegt in der beschränkten Größe der schwedischen Autoindustrie, der es nicht möglich ist, eine breite Fahrzeugpalette für jeden Wunsch anzubieten, und die sich daher auf wenige Modelle beschränkt hat {165}.

Von 1971 bis 1976 haben sich die Import-Zulassungen nahezu verdoppelt, so daß 2/3 der 1976 in Schweden zugelassenen Fahrzeuge (313.000 Stück) Importe waren. Während die mittlere jährliche Zuwachsrate einheimischer Zulassungen von 1971 bis 1976 bei  $\approx 4,4$  % stagnierte, betrug die mittlere Steigerung der Importfahrzeug-Zulassungen im gleichen Zeitraum jährlich 13 % {167}.

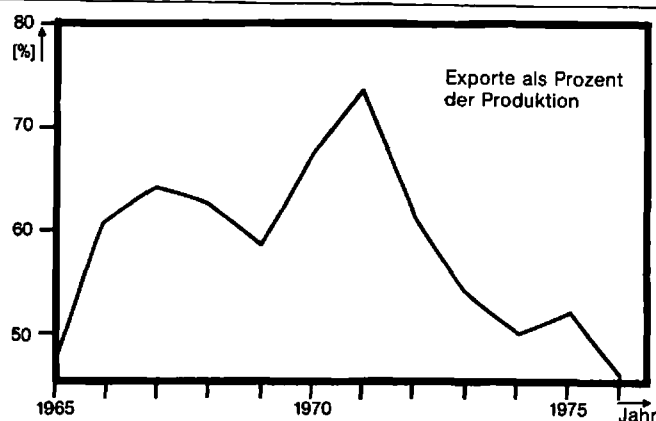
### 2.6.3.2 Die Exportsituation in Schweden

Das Wachstum der schwedischen Autoindustrie ist sehr exportabhängig. Seit 1960 stieg die Gesamtproduktion dieser Industrie mit  $\approx 8,5$  % pro Jahr, wobei von 1960 bis 1971  $\approx 92,5$  % dieser Steigerung dem Wachstum des Exportgeschäfts zuzurechnen ist. Bild I.2-65 zeigt diese Entwicklung für den Zeitraum von 1965 bis 1971. Exporte in die USA trugen mit 25 % zum gesamten Exportwachstum der Automobilindustrie bei {168}.



**Bild I.2-65:** Produktion und Export von PKW in Schweden für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

Von 1965 bis 1971 haben sich die Exporte mehr als verdoppelt und machten – wie der Verlauf des Export-Verhältnisses in Bild I.2-66 veranschaulicht – 1965  $\approx 46$  % und 1971  $\approx 74$  % der Produktion aus. Seit 1971 hat sich der Trend jedoch umgekehrt: Die Exporte nahmen bis 1976 jährlich (im Mittel) um  $\approx 7,5$  % ab. Auch erreichte das Exportverhältnis 1976 nur noch 45 % der Produktion, was dem kleinsten Anteil seit 1962 entspricht {164}.



**Bild 1.2-66:** PKW-Export-Verhältnis von Schweden für die Zeit von 1965 bis 1976, [132].

Die Verschlechterung der schwedischen Exportsituation ist das Ergebnis einer Kombination interner und externer Einflußgrößen. Die Konzentration auf ein begrenztes Modellangebot hoher Qualitäten (Zuverlässigkeit, Dauerhaltbarkeit, Sicherheit) ermöglichte in den 60er Jahren noch eine gute Wettbewerbssituation. Diese wurde dann jedoch immer ungünstiger, als andere Hersteller neue Modelle im gleichen Marktbereich anboten und die schwedischen Hersteller nicht auf ein breiteres Programm expandieren konnten. Hinzu kam, daß die Preise der schwedischen Fabrikate ebenfalls die Exportmöglichkeiten begrenzten. Der Stand der schwedischen Währung führte in den letzten Jahren dazu, daß schwedische Automobile (die schon zur teureren Gruppe gehören) im Gegensatz zu Konkurrenzprodukten überteuert waren. Steigende Gehälter (bis zu 40 % in den Jahren 1975/76) und höhere Produktionskosten waren hierfür ein zusätzlicher Grund [164].

Von 1973 bis 1976 fiel der Verkauf schwedischer Automobile in den USA um 31 % ab, während andere Import-Verkäufe nur um 14 % sanken. Der Anteil schwedischer Fahrzeuge am US-Importmarkt, der von 1970 bis 1975  $\approx 4,5$  % betrug, fiel im Jahre 1975 auf 3,6 % [164].

Von 1973 bis 1976 fiel der Verkauf schwedischer Automobile in den USA um 31 % ab, während andere Import-Verkäufe nur um 14 % sanken. Der Anteil schwedischer Fahrzeuge am US-Importmarkt, der von 1970 bis 1975  $\approx 4,5$  % betrug, fiel im Jahre 1975 auf 3,6 % [164].

### 2.6.3.3 Emissionskontrollgesetzgebung und Automobil-Situation in Schweden

Schweden hat nicht an ein zügiges Fortschreiten der ECE-Gesetzgebung geglaubt und daher die US-Emissionskontrollgesetzgebung, wie sie im Modelljahr 1972 einsetzte, übernommen. Dieser "Alleingang" hat, z. B. im Falle der Daimler-Benz AG, zu einer deutlichen Reduzierung des angebotenen Fahrzeugprogramms geführt. So zeigt das Beispiel Modelljahr 1979 eine Typenreduzierung von 20 auf 6 Modellausführungen, die ausschließlich aus Gründen der separaten schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung notwendig wurde, und deren Emissionskontrollanlagen den Kraftstoffverbrauch erhöhten (!).

Das besondere Problem des schwedischen "Alleingangs" liegt darin, daß nach Schweden weder die reine "Europa-Version" noch die moderne "US-Version" eines bestimmten Fahrzeugmodells geliefert werden können. Die erstgenannte Variante besteht die schwedischen Grenzwerte nicht, wenn sie nach dem in Schweden gültigen Fahrzyklus getestet wird, die moderne US-Ausführung beinhaltet Katalysatoren, zu deren Betrieb in Schweden kein bleifreier Kraftstoff zur Verfügung steht. Darüber hinaus muß auch bezweifelt werden, ob die heute in Schweden angebotenen Fahrzeuge, die z. B. Emissionskontrollmaßnahmen des US-Modelljahres 1973/74 enthalten (Lufteinblasung, Niederverdichtung), in jedem Fall einer Verbesserung der Luftqualität genützt haben. Werden diese "Schweden-Versionen" nämlich einem Europatest unterzogen, können sie (je nach Motor und seiner Kalibrierung) zum Teil auch höhere HC- und CO-Massen als reine "Europa-Ausführungen" emittieren (nur im  $\text{NO}_x$  haben sie bei Anwendung von Abgas-

rückführung in jedem Fall Vorteile, wobei die Frage offenbleibt, ob Schweden nicht eher an einer Verbesserung der CO-Immission in Innenstädten als an der Senkung des Smog-Potentials, d. h. einer HC/NO<sub>x</sub>-Kontrolle interessiert war).

Die Emissionskontrollsituation Schwedens unterscheidet sich durch die Automobilsituation und geographische Lage des Landes grundsätzlich von derjenigen der USA und Japans (oder auch von der des hier nicht näher behandelten Exportlandes Australien, wo das gleiche Emissionstestverfahren wie in Schweden angewendet wird) wie folgt:

- Sowohl die USA wie auch Japan haben einen ausreichend großen Automobilmarkt, so daß sie darauf vertrauen können, daß eine genügend große Anzahl Hersteller auf diesem Markt im Wettbewerb bleiben werden, unabhängig von der Notwendigkeit, ein für dieses Land spezielles Emissionskontrollsystem entwickeln, produzieren und zertifizieren zu müssen.
- Sowohl die USA wie auch Japan gründen ihre strengen Emissionskontrollforderungen auf die Verfügbarkeit von bleifreiem Kraftstoff, keines der beiden Länder braucht den Betrieb seiner (Katalysator-)Fahrzeuge in Nachbarstaaten ohne bleifreien Kraftstoff zu berücksichtigen (Katalysator-"Bleivergiftung").
- Australien wendet zwar auch die 1972er US-Testmethode zur Emissionskontrolle an, ist jedoch im Gegensatz zu Schweden kein exportorientiertes Land. Es schützt die einheimische Autoindustrie mittels Quoten und hoher Zölle und braucht sich nicht darum zu sorgen, wie sich die eigene - in den australischen Einzelstaaten sehr unterschiedliche - Emissionskontrollgesetzgebung auf den eigenen Fahrzeugexport auswirkt.

Schweden ist geographisch nicht isoliert, es kann zur Zeit - wenn es sich bezüglich des Automobilverkehrs nicht vom umgebenden Ausland abkapseln will - keinen bleifreien Kraftstoff vorschreiben. Sein Markt ist zu klein, als daß alle Autohersteller - unabhängig von der Strenge der Emissionsgrenzwerte - eine spezielle "Schweden-Version" bauen würden. Schwedische Autohersteller müssen die Preise ihrer Fahrzeuge im Vergleich zu denen anderer Hersteller konkurrenzfähig halten. Aus diesen Gründen kann ein aus der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung resultierender Zwang zum Bau spezieller Schweden-Fahrzeuge zu einer wirtschaftlich oder politisch untragbaren Situation führen {169}.

## 2.7 Zollbelastungen im internationalen Pkw-Handel

Zur Ergänzung des aus dem vorigen Kapitel gewonnenen allgemeinen Bildes über die Bedingungen der Automobilmärkte der in dieser Arbeit behandelten Länder sei abschließend anhand von Bild I.2-67 noch ein Überblick über die für Pkw bei der Einfuhr in diese Länder anfallenden Zoll- und Steuerbelastungen gegeben. Die Kenntnis dieser Verhältnisse ermöglicht eine umfassendere Beurteilung des im Zusammenhang mit der Emissionskontrollgesetzgebung oft angesprochenen Problemkreises tarifärer (Zölle, Steuern) und nicht-tarifärer (z. B. protektionistische Gesetzgebung) Handelshemmnisse.

Land	(1980) PKW- Zoll [%]	(1980) Gesamt-Import Belastung [%]	Bemerkungen
USA	2.9	2.9	Zollwert ist „Auslandswert“ (einheimischer Großhandelsmarktwert im Land der Ausfuhr) oder der „Ausfuhrwert“ (Preis für Ausfuhr in USA) je nachdem, welcher höher ist. Für Kraftfahrzeuge und -Teile aus Kanada besteht aufgrund eines Abkommens Zollfreiheit. Historische Zollentwicklung: 1965 bis 1967: 6.5%; ab 1. 1. 68: 5.5%; ab 1. 1. 69: 5.0%; ab 1. 1. 70: 4.5%; ab 1. 1. 1971: 3.5%; vom 1. 1. 1972 bis 1979: 3.0%; ab 1. 1. 1980 (erste Zollsenkung im Rahmen der „GATT-Runde“): 2.9%. Ab 1. 1. 1966 gab es noch zusätzlich eine FET („Federal Excise Tax“ = bundeseinheitliche Warensteuer) von 6%, die ab 16. 3. 1966 auf 7% erhöht wurde und bis zum 16. 8. 1971 galt. Ab diesem Datum entfiel diese Zusatzsteuer. Am 16. 8. 1971 wurde eine „surcharge“ (Zusatzabgabe) von 6.5% zum obigen Zoll erhoben. Diese „surcharge“ entfiel jedoch wieder ab 20. 12. 1971. <b>Gesamt-Einfuhrbelastung (Zoll): 2.9%.</b>
J	0	20	Am 4. 3. 1978 erfolgte eine autonome Zollsenkung auf den Nullsatz. Vor diesem Zeitpunkt betrugen die Zölle (erste Zahl gilt für Fahrzeuge < 270 cm Radstand, < 170 cm Breite und < 2 l Hubraum; der zweite Zahlenwert gilt für andere PKW) 1. 1. 1965 bis Juni 1968: 40/35%; ab 1. 7. 1968: 36/28%; ab 1. 4. 1969: 17,5/30%; ab 1. 1. 1970: 17,5/20%; ab 1. 4. 1970: 10% (für beide Gruppen); ab 1. 4. 1972: 8% (für beide Gruppen); ab 4. 3. 1978: 0%. Es wird jedoch für importierte – wie auch für jedes einheimische – Fahrzeug eine sogenannte „commodity tax“ (Warensteuer) erhoben. Die Steuer wird auf den CIF („Cost-Insurance-Freight“)-Preis angesetzt, wodurch sich eine gewisse Mehrbelastung der Importe gegen Inlandsprodukten ergibt. Von 1965 bis 1972 betrug die „commodity tax“ 30% für Fahrzeuge < 370 cm Radstand und < 3 l Hubraum bzw. 40% für größere Fahrzeuge. Ab 1973 erfolgte eine Senkung auf die bis heute gültigen Werte von 15/20% (für Fzge. < 270 cm Radstand, < 170 cm Breite und < 2 l Hubraum oder größere Fahrzeuge. <b>Gesamt-Einfuhrbelastung (Warensteuer): 20% (1980).</b>
S	EG/EFTA: 0 Drittländer: 9	EG/EFTA: 36,3 Drittländer: 47,2	Am 1. 1. 1980 erfolgte erste Zollsenkung gegenüber Nicht-EG-Ländern und Nicht-EFTA-Ländern im Rahmen der „Tokyo-Runde“ auf 9%. Die historische Entwicklung des Zolls für diese Länder ist folgender: Für EG- und EFTA-Länder besteht ab 1. 6. 1977 Zollfreiheit. Die Zölle gegenüber diesen Ländern entwickelten sich wie folgt: 1965: 15%; ab 1. 7. 1968: 13%; ab 1. 1. 1970: 12%; ab 1. 1. 1971: 11%; ab 1. 1. 1972: 10%; ab 1. 9. 1973: 8%; ab 1. 1. 1974: 6%; ab 1. 1. 1976: 2%; ab 1. 6. 1977: 0%. Parallel zu dieser Entwicklung verlief die Anhebung der Umsatzsteuer: 1965: 10%; ab 1. 3. 1967: 11,1%; ab 1. 1. 1969 (jetzt Mehrwertsteuer): 11,1%; ab 1. 2. 1970: 16,28% plus eine Zusatzsteuer von 17,65% ab 1. 11. 1970 nur für PKW; ab 1. 4. 1974: 14,65%; ab 1. 9. 1974: 17,65%; ab 1. 6. 1977: 20,63%; ab Sept. 1980: 23,46% (und damit höchste MWSt. der Welt!). Weiterhin erhebt Schweden eine spezielle zusätzliche Warensteuer auf PKW, die 1965: 1,90 SKr. je kg Gesamtgewicht plus 240 SKr. je volle 50 kg bei Fzgn. > 1600 kg betrug, bei Fzgn. > 1800 kg jedoch entfiel. Ab Juli 1973 betragen diese Steuerwerte 2,90 SKr je kg Gesamtgewicht und 290 SKr. je volle 50 kg. <b>Gesamt-Einfuhrbelastung (Warensteuer, Umsatzsteuer): 36,3% (1980).</b>
AUS	45 + 12,5 Sonderzoll für PKW	85,9	Am 15. 8. 1978 führte Australien einen PKW-Sonderzoll von 12,5% ein (senkte aber gleichzeitig die PKW-Verkaufssteuer von 27,5% auf 15%. Der PKW-Sonderzoll gilt nicht für Einfuhren aus Neuseeland. Historische Entwicklung des Zolls: 1965: 45%; ab 1973: 24%; ab 13. 11. 1974: 44%; ab 1976: 45%. Historische Entwicklung der Verkaufssteuer: ab August 1970: 27,5%; ab 15. 8. 1978: 15%, aber Sonderzoll. Australien gab für britische Fahrzeuge bis einschließlich 1970 eine Präferenzzoll von 12,5%. Ab 1973 betrug dieser 20,6% und ab Januar 1975: 31%. Im Jahre 1973 taucht Absicht zur Streichung dieses Präferenzzolls auf, Streichung erfolgt ab September 1976. <b>Gesamt-Einfuhrbelastung (Zoll, Sonderzoll, Kalkulationszuschlag des Importeurs, Verkaufssteuer): 85,9% (1980).</b>
EG	11.0	je nach Land	Der Zoll gegenüber assoziierten Ländern entfällt. Der EG-Zoll betrug 1966: 22%; ab 1. 7. 1968: 17,6%; ab 1. 1. 1970: 15,4%; ab 1. 1. 1971: 13,2% und ab 1. 1. 1972: 11.0%. Die Gesamteinfuhrbelastung setzt sich also heute aus dem Zoll und der jeweiligen Mehrwertsteuer des einzelnen EG-Landes zusammen.

**Bild I.2-67:** Die Einfuhrbelastung bei PKW-Importen in ausgewählte Export-Länder im Vergleich zur Belastung von Importen in die EG, dargestellt anhand der Entwicklung von Einfuhrzöllen und Steuern, nach [170].

## TEIL II

### Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Kalifornischen- und 49-Staaten-Emissionskontrollgesetzgebung der USA für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren

#### 1. Die Umweltsituation in den USA

Eine bestimmte Umweltsituation – d. h. der Zustand von Erde, Wasser und Luft – ist stets das Ergebnis des Wechselspiels zwischen den Auswirkungen der vom Menschen (und von der Natur) verursachten Prozesse und der Kompensation dieser Effekte durch die Kräfte des betroffenen Ökosystems. Diese Wechselbeziehung befindet sich solange im Gleichgewicht, wie die eingebrachten Belastungen kompensierbar und damit tolerierbar bleiben. Wird diese Tolerierbarkeitsgrenze jedoch überschritten, so entsteht ein Umweltproblem, wie nachfolgend am Beispiel der Auswirkungen von Schadstoffemissionen durch den Automobilverkehr auf die Luftqualität bestimmter Gebiete der USA gezeigt werden soll.

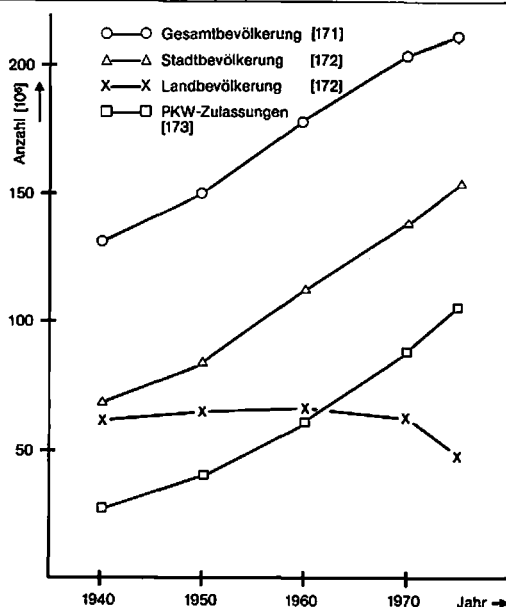
##### 1.1 Kalifornien

In Anbetracht seiner "historischen Priorität" auf den Gebieten des Erlebens, Erforschens und Bekämpfens von Luftqualitätsproblemen sei der Staat Kalifornien bei der Betrachtung der US-Situation separat behandelt.

##### 1.1.1 Das Erreichen der Tolerierbarkeitsgrenze

Eine außergewöhnliche Dynamik in den Bereichen Bevölkerungswachstum und Verkehrsaufkommen führte erstmals in Kalifornien zu den später auch in weiteren US-Bundesstaaten und anderen Ländern der Erde auftretenden Schädigungen oder Belästigungen durch Luftverunreinigung.

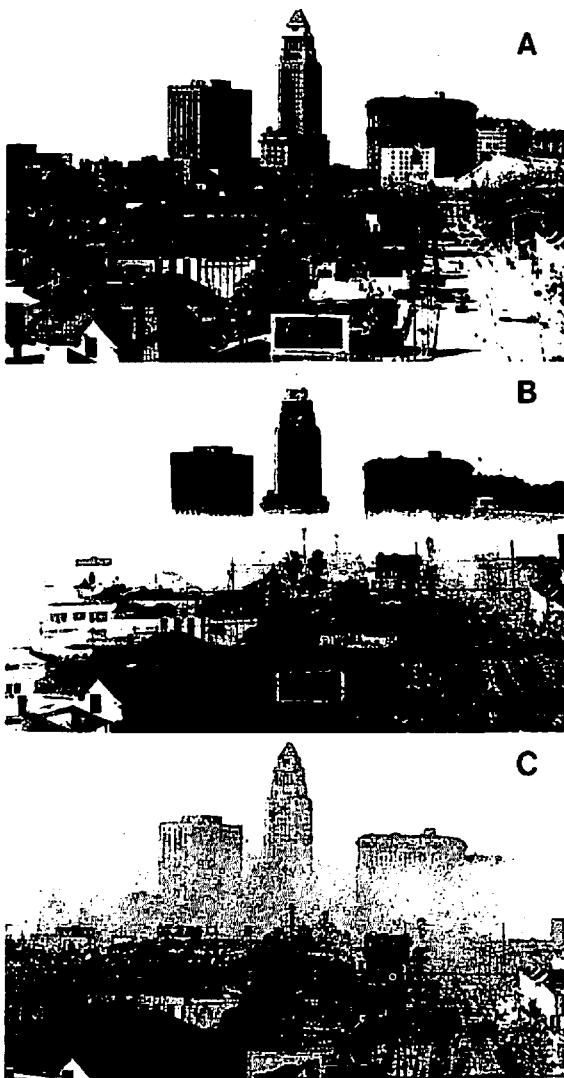
Wie aus Bild II.1-1 erkenntlich ist, stiegen Bevölkerungszahl und Fahrzeugpopulation bundesweit nahezu konstant und mit etwa gleicher Wachstumsrate an. Bild II.1-2 zeigt eine ähn-



**Bild II.1-1:** Bevölkerungszahl, Bevölkerungsverteilung auf Stadt und Land sowie Personenwagen-Bestand in den USA von 1940 bis 1975, nach [171 bis 173].

		1940 bis 1950	1950 bis 1960	1960 bis 1970
USA	Kraftfahrzeuge [173]	52	50	47
	Bevölkerung [171]	15	19	13
Kalif.	Kraftfahrzeuge [174]	64	70	52
	Bevölkerung [175]	54	48	27
Los Angeles	Kraftfahrzeuge [176]	61	72	41
	Bevölkerung [176]	49	48	33

**Bild II.1-2:** Vergleich der Zunahme [%] der Bevölkerung und des Kraftfahrzeugbestandes in den Gesamt-USA, in Kalifornien und Los Angeles, nach [171, 173 bis 176].



**Bild II.1-3:** Los Angeles bei verschiedenen Smog-Situationen ( A : klarer Tag; B : Smog, unter Inversionsschicht in 250 ft.  $\approx$  76 m Höhe; C : Ausdehnung des Smog unter Inversionsschicht in 1500 ft.  $\approx$  457 m Höhe), [178].

liche Charakteristik auch für den Einzelstaat Kalifornien, wobei die jeweiligen Wachstumsraten hier noch wesentlich extremer waren.

Da die Bevölkerungs- und Fahrzeugpopulationsexplosion nach den beiden obengenannten Bildern hauptsächlich zu Lasten der Städte ging, wurde z. B. in Los Angeles schon Anfang der 40er Jahre die in diesem Gebiet aufgrund besonderer klimatischer und geographischer Bedingungen relativ niedrig liegende Tolerierbarkeitsgrenze für derartige Veränderungen überschritten. Das Los Angeles-Becken ist von drei Seiten von Bergen umgeben, nur eine Seite ist zum Meer hin frei. Außerdem liegt eine klimatische Besonderheit, die Temperatur-Inversion, vor: Normalerweise nimmt die Lufttemperatur mit steigender Höhe ab, in Los Angeles wird bei Inversionswetterlagen die verschmutzte Luft in Erdnähe durch eine warme Luftschicht darüber daran gehindert, aufzusteigen und sich zu verdünnen, was durch das Fehlen kräftiger Windströmungen unterstützt wird. So wird hier im Jahre 1943 erstmals über ernsthafte Luftverschmutzung berichtet, die Pflanzenschäden, Hals- und Augenreizungen sowie verschlechterte Sicht verursachte [177].

Als das Problem immer gravierender wurde, forderten Bürger und Medien im Jahre 1947 Maßnahmen zur Herabsetzung der in die Atmosphäre emittierten Schadstoffmengen. Die erste Folge dieser Aktivitäten war im Jahre 1948 die Bildung der "Air Pollution Control Districts" (APCD's) mit dem Auftrag, die vorhandenen Emissionsquellen zu verringern [177]. Bild II.1-3 zeigt Aufnahmen des ersten APCD (Los Angeles County), die drei typische Luftqualitätssituationen für Los Angeles veranschaulichen.

### 1.1.2 Bemühungen zur Verbesserung der Luftqualität

Zunächst versuchte man, die Luftqualität durch Senkung der Emissionen aus der Industrie sowie offenen Feuern zu verbessern. Durch Verringerung der täglich anfallen-



den Staubmassen aus derartigen Prozessen um 75 % konnte man bezüglich Staub wieder das Luftqualitätsniveau von 1940, also der Zeit, in der noch kein "Smog"-Problem vorlag, erreichen {177}.

Obwohl die Sichtverhältnisse durch diese Maßnahmen deutlich verbessert waren, blieben die übrigen Smog-Erscheinungen, wie z. B. Augenreizungen, erhalten, so daß man die Erforschung der Ursachen für den speziellen Los Angeles-Smog in Angriff nahm. Diese Smog-Art war im Gegensatz zu der reduzierend wirkenden Atmosphäre, die normalerweise mit SO<sub>2</sub>-Emissionen aus Kraftwerken und Hausbrand verbunden ist, aufgrund ihres hohen Ozon-Gehaltes als oxidierend gekennzeichnet. Da kein industrieller Prozeß Ozon in nennenswertem Maße verursachte, vermutete man irgendeine Art atmosphärischer Ozon-Bildung {179}.

#### 1.1.3 Die Spur führt zum Automobil

Die oben angegebene Vermutung wurde durch die als historischer Meilenstein anerkannten Arbeiten von A. J. Haagen-Smit des "California Institute of Technology" aus dem Jahre 1952 {180} bestätigt. Die in den Arbeiten von Haagen-Smit beschriebenen Versuche, in denen durch Sonnenbestrahlung eines Gemisches aus organischen Verbindungen und NO<sub>x</sub> typische Smog-Effekte dargestellt wurden (Oxidantienbildung, z. B. Ozon), führten zu der Erkenntnis, daß Kraftstoffverdunstungs- und Verbrennungsprodukte und damit Versorgung und Betrieb des Automobils einen wesentlichen Beitrag zum typischen Los Angeles-Smog lieferten.

Folgerichtig bemühte sich Kalifornien, den Einfluß dieser Emissionsquellen zu senken, und konzentrierte sich hierbei zunächst auf die stationären Quellen der Raffinerien. Obwohl die Kohlenwasserstoffemissionen aus Raffinerieprozessen von 400 t/Tag im Jahre 1951 auf 85 t/Tag im Jahre 1964 gesenkt werden konnten {181}, ging mit diesem Prozeß keine spürbare Verringerung der Smog-Situationen einher.

So erkannte man im Jahre 1958, daß weitere Verbesserungen der Luftqualität nur durch umgehende Kontrolle der HC-Emissionen aus Kraftfahrzeugen erwartet werden konnten, deren Stückzahl sich in Los Angeles zwischen 1950 und 1960 um mehr als 70 % erhöht hatte. Die durch diese mobile Emissionsquelle verursachten Mengen von in die Atmosphäre gelangenden Gesamtkohlenwasserstoffen bildeten damit den größten verbleibenden Einzelbeitrag organischer Bestandteile zum speziellen Los Angeles-Smog {182}.

#### 1.1.4 Anteil der Kraftfahrzeuge an der Umweltbelastung in Kalifornien

Zur Charakterisierung der spezifisch kalifornischen Situation seien die nachfolgenden Angaben auf die Stadt mit größter fahrzeugbezogener Luftverunreinigung - auf Los Angeles - bezogen.

In dieser Stadt, deren Einwohnerzahl sich von 1940 bis 1970 von etwa 2,8 auf rund 8,2 Millionen erhöhte und deren Fahrzeugbestand sich im gleichen Zeitraum von etwa 1 Million auf fast 4,5 Millionen Stück vergrößerte {176}, lag der Anteil des durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffausstoßes an der jeweiligen Gesamtemission in

Quelle \ Jahr		1940	1950	1960	1970
Abgas		298	519	912	1325
Kurbelgehäuse *		43	76	134	193
Vergaser	Gesamt	39	67	117	168
	Fahr- betrieb	29	50	88	127
	Heiß- abstellen	10	17	29	41
Kraftstofftank		26	42	72	101
Nicht Fzg.-Emiss.		572	836	618	773
Total		406	704	1235	1787

**Bild II.1-4:** Anteil der Kraftfahrzeuge an der HC-Emission in Los Angeles [t/Tag], nach [183, 184\*].

diesem Zeitraum bei den in Bild II.1-4 angegebenen Werten. Für die CO-Emissionen liegt nur ein Vergleich zwischen den Jahren 1957 und 1970 vor, in denen Kraftfahrzeuge für 83,7 und 95,3 % der gesamten in die Los Angeles-Atmosphäre gelangenden CO-Masse verantwortlich waren [185]. Im Jahre 1961 betrugen die täglich durch Fahrzeuge mit Otto-Motoren in die Los Angeles-Atmosphäre emittierten Massen nach Schätzung des "Los Angeles Air Pollution Control District" 1180 t HC, 330 t NO<sub>x</sub> und 8950 t CO. Die CO-Masse entspricht einem Volumen

von 6,5 km<sup>3</sup> (230 · 10<sup>6</sup> cu. ft.), das ausreicht, in einer Luftschicht über einer Fläche von 2000 km<sup>2</sup> (681 sq. miles) bis zu einer Höhe von 120 m (400 ft.) eine CO-Konzentration von 30 ppm zu erzeugen [186]. Dieser Wert wird in den später beschriebenen Kalifornischen "Air Quality Standards" unter dem Gefährdungsgrad "serious" (ernst) eingestuft.

HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Aerosole
69,2	97,6	58,6	5,6	32,1

**Bild II.1-5:** Fahrzeugbezogener Massen-Anteil [%] an verschiedenen Schadstoffemissionen in Los Angeles 1967, nach [187].

In Bild II.1-5 ist ein Vergleich des fahrzeugbezogenen Massenanteils an verschiedenen Schadstoffemissionen für das Jahr 1967 wiedergegeben.

Bevor man nun Gesetze und Grenzwerte zur Limitierung dieser Emissionen festlegen konnte, mußte zunächst die durch derartige Eingriffe angestrebte Luftqualität definiert, d. h. es mußten sogenannte "Air Quality Standards" bestimmt werden. Nachfolgend seien einige Grundgedanken und Verfahrensweisen der kalifornischen Behörden diskutiert und die Herleitung dieser Schwellwerte erläutert.

#### 1.1.5 Voraussetzung für Emissionsgrenzwerte: "Air Quality (AQ) Standards"

Gemäß der Aufforderung von Governor E.G. Brown legte die kalifornische Gesetzgebung im Jahre 1959 fest, daß das "State Department of Public Health" AQ-Standards (wie auch Fahrzeug-Emissionsgrenzwerte) erarbeiten sollte. Die am 04.12.1959 vom "State Board of Public Health" angenommenen Grenzwerte stellen eine Pionieranstrengung zur Definition der Luftqualität in Kalifornien dar. Außerdem bedeuten sie den ersten Versuch, Grenzwerte für die Emissionen in Abgasen von Automobilen festzulegen. Sie entstanden durch Arbeiten des "State Department of Public Health", seines "Advisory Committee on Air Sanitation", des "Subcommittee on Ambient Air Standards and Biological Research in Air Pollution" und der "Technical Advisory Group on Motor Vehicle Exhaust". Ebenso trugen Mitglieder von Forschungsinstituten des gesamten Landes dazu bei, und auch durch die "Air Pollution Programs" des "US-Public Health Service" (USPHS) erfolgte Unterstützung [188].

Mögliche Einflüsse von verunreinigter Umgebungsluft auf empfindliche	Menschen	1.	Beeinträchtigung des Wohlbefindens in einem solchen Maße, daß Wohnort- oder Arbeitsplatzwechsel stattfinden.
		2.	Gesundheitsstörende Symptome ohne direkt feststellbare Ursache
		3.	Veränderung physiologischer Funktionen
		4.	Schleichendes oder chronisches Leiden
		5.	Akute Krankheit oder Tod
	Pflanzen	1.	Veränderung fundamentaler biochemischer Vorgänge ohne offenbare Schädigung
		2.	Schleichende oder chronische Einflüsse, die zu vermindertem Ertrag führen
		3.	Akute Schäden die zur Unverkäuflichkeit führen

**Bild II.1-6:** Bei der Festlegung der kalifornischen „Air Quality Standards“ berücksichtigte Einflußmöglichkeiten von verunreinigter Umgebungsluft auf empfindliche Bevölkerungsgruppen und Pflanzen, nach [189].

Bei der Festlegung der Grenzwerte hatte man sich das Ziel gesetzt, in Kalifornien die Luftqualität von 1940 wiederherzustellen. Man ging von der Überlegung aus, daß die zu bestimmenden Standards keine feste Grenze repräsentieren konnten, die "gute" von "schlechter" Luft trennt. Sie konnten nur einen geschätzten Punkt anzeigen, ab dem in der Umgebungsluft unter bestimmten Bedingungen unerwünschte Effekte möglich sind [188].

Als Basis der Standards dienten Untersuchungen über das vorhandene Ausmaß von

Luftverunreinigungen, wobei die Beurteilung des Einflusses dieser Verunreinigungen auf die menschliche Gesundheit anhand der empfindlichsten Bevölkerungsgruppen definiert wurde. Die hierbei als möglich angesehenen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sowie die darüber hinaus einbezogenen möglichen Einflüsse auf Pflanzen sind in Bild II.1-6 zusammengestellt. Den Grad der Gefährdung durch verunreinigte

Gefährdungs-Grad	Definition
„Adverse“ Level	Luftverunreinigungsniveau, bei dem Sinnesreizungen (z. B. Augenreizungen), Pflanzenschäden, verschlechterte Sichtverhältnisse oder ähnliche Erscheinungen auftreten. Wenn hierbei auch (selbst in empfindlichen Bevölkerungsgruppen) noch nicht unbedingt Krankheiten ausgelöst werden, so kann dieses Niveau doch schon zu Fluktuationen in den betroffenen Arbeits- oder Wohngebieten führen. Pflanzen- und Materialschäden treten auf, die Sichtverhältnisse haben sich verschlechtert.
„Serious“ Level	Luftverunreinigungsniveau, das wahrscheinlich bei empfindlichen Bevölkerungsgruppen zu chronischen Krankheiten oder deutlicher Veränderung wichtiger physiologischer Funktionen führt. Diese Wirkungen können für empfindliche Gruppen ein Gesundheitsrisiko bedeuten, für weniger empfindliche Personen jedoch ohne Einfluß bleiben.
„Emergency“ Level	Luftverunreinigungsniveau, das in Kombination mit meteorologischen Faktoren innerhalb empfindlicher Bevölkerungsgruppen wahrscheinlich zu akuter Krankheit oder zum Tode führt.

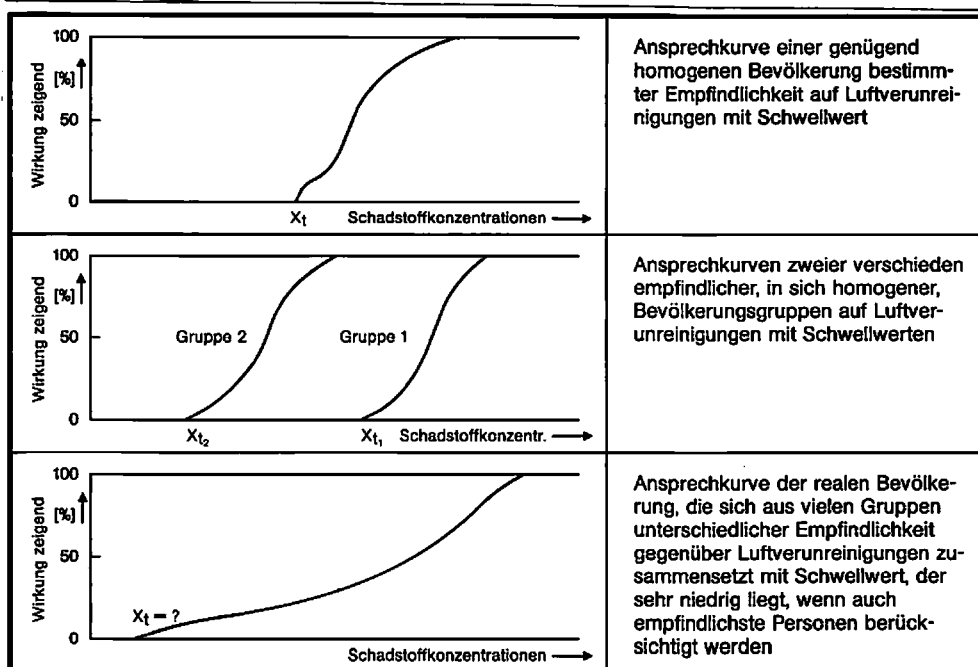
Luft definierte man in den drei in Bild II.1-7 beschriebenen Stufen.

Zum Verständnis der Herleitung von AQ-Grenzwerten ist ein einfaches hypothetisches Beispiel hilfreich, in dem nur 1 Schadstoff, 1 Gesundheitseinfluß und 1 Einflußzeitraum vorliegen

**Bild II.1-7:** Definition der Gefährdungsgrade durch Luftverunreinigungen, auf die die Kalifornischen „Air Quality Standards“ bezogen wurden, nach [189].

(z. B.  $\text{SO}_2$ , Atem- und Sichtbeschwerden, 1 Stunde) [190]. Bei gegebener Konzentration dieses Schadstoffes zeigt eine bestimmte Bevölkerungsgruppe die obengenannten Beschwerden. AQ-Werte werden als Schwellwerte etabliert, bis zu denen niemand die Beschwerden verspürt. In einer genügend homogenen Bevölkerung kann dann ein einfacher Zusammenhang gefunden werden, wie er in der oberen Kurve von Bild II.1-8 gezeigt ist. Die Kurve wird "response curve" (Ansprechverlauf) genannt, und  $X_t$  ist der Schwellwert.

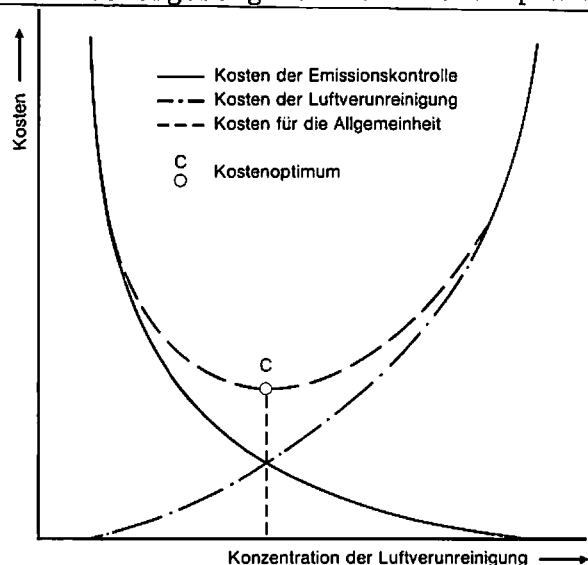
Wenn statt einer homogenen Bevölkerung zwei verschiedene (in sich wieder homogene) Gruppen vorliegen, wobei Gruppe 1 unempfindlicher sei als Gruppe 2 können sich die mittleren Kurven von Bild II.1-8 ergeben. In der komplexen realen Bevölkerung existieren nun viele solcher Gruppen verschiedenster Empfindlichkeitsgrade, die man nicht unterscheiden kann. Daher ergibt sich im praktischen Fall ein der unteren



**Bild II.1-8:** Darstellung von Ansprechkurven („response curves“) verschiedener Bevölkerungsgruppen auf Luftverunreinigungen mit zugehörigen Schwellwerten, nach [190].

Kurve von Bild II.1-8 ähnlicher Zusammenhang, wobei der Schwellwert  $X_t$  nie so niedrig angesetzt werden kann, daß alle Individuen geschützt sind. Man muß sich z. B. einigen, 99 % der Bevölkerung durch landesweite Kontrolle (Standards) zu schützen und den übrigen 1 % individuelle Kontrolle (Arzt) zu gewähren.

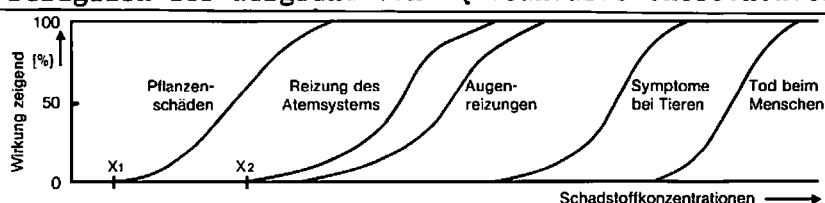
Außer diesen rein medizinischen Gesichtspunkten sind beim Festlegen von Standards auch die in Bild II.1-9 dargestellten Kosten/Nutzen-Zusammenhänge zu berücksichtigen. Zielt man durch die Gesetzgebung nur auf Kostenoptimierung, wäre der niedrigste Punkt der Summenkurve (C) in diesem Bild als Grenzwert zu wählen.



**Bild II.1-9:** Kostenverlauf in Abhängigkeit vom Aufwand für Emissions-Kontrolle oder dem Grad der Luftverunreinigung mit Kostenoptimum, [190].

Ein weiterer Gesichtspunkt wäre das Festlegen verschiedener Standards, wenn sich die Ziele für das zu schützende Objekt unterscheiden. Die Möglichkeit zweier verschiedener Grenzwerte (z. B. auf dem Land und in der Stadt) ist in Bild II.1-10 am Beispiel von  $\text{SO}_2$  dargestellt. In land- und forstwirtschaftlichen Gebieten müßte der Schwellwert zum Schutz der (empfindlicher reagierenden) Pflanzen  $X_1$  betragen, er könnte jedoch in der Innenstadt bei  $X_2$  liegen, ehe Einflüsse auf die dort lebenden Menschen bemerkbar würden.

Bezüglich der aufgrund von AQ-Standards entstehenden Kosten für Maßnahmen gegen die vorhandenen Luftverunreinigungen gehen die in Bild II.1-11 zusammengestellten Argumente in die Überlegungen ein.



**Bild II.1-10:** Möglichkeiten der Festlegung von Air Quality Standards je nachdem, welches Objekt geschützt werden soll (dargestellt am Beispiel der Ansprechkurven von  $\text{SO}_2$ ), [190].

vorhandenen Luftverunreinigungen gehen die in Bild II.1-11 zusammengestellten Argumente in die Überlegungen ein.

Kosten/Folgen	Mit Emissionskontrolle	Ohne Emissionskontrolle
Direkte wirtschaftl. Kosten	Die Kosten für Emissionskontrollsysteme wurden auf 50 \$ bis mehrere hundert \$ pro Fahrzeug geschätzt. Wenn ein mittlerer Wert von 150 \$/Fahrzeug angenommen wird, ergibt sich ein Gesamtbetrag von enormer Größe für die auszustellende Fahrzeugflotte. Hinzu kämen Einbau-, Wartungs- und Austauschkosten für diese Systeme.	Verluste durch Unverkäuflichkeit, mangelhaftes Wachstum, geringeren Ertrag landwirtschaftlicher Produkte, Verluste durch schlechte Sichtbedingungen (z. B. Flughäfen). Schäden an Eigentum durch Verschmutzung.
Indirekte wirtschaftl. Kosten	Ingenieur- u. Mechanikerkosten für Entwicklung, Prüfung und Einbau von Emissionskontrollsystemen. Verwaltungs- und Organisationskosten für Entwicklung und Betrieb dieser Anlagen.	Fehlender Arbeitskräftezugang aufgrund der vorhandenen ungünstigen Umweltbedingungen. Verminderte Produktivität, eventuell höhere Unfallraten bei extremen Umweltlagen.
Einflüsse auf die Gesundheit	Emissionskontrollsysteme können neue Gesundheitsgefahren mit sich bringen. Einige Katalysatoren verwenden giftige Materialien die zu einer schädlichen Partikelemission führen können. Gefahren durch übermäßige Hitzeentwicklung, Geräusch und Geruch können entstehen.	Akute Krankheit oder Tod bei ernststen Luftverschmutzungs-Episoden mit extremen Wetterlagen. Chronische Krankheiten, Unwohlsein.
Soziale Belastungen	Steigender Kaufpreis und erhöhte Unterhaltskosten für ein emissionsgereinigtes Automobil können zu Veränderungen im Lebensstil führen.	Arbeitsplatz- und/oder Wohnortwechsel kann aus gesundheitlichen Gründen erzwungen werden (für empfindliche oder kranke Personen).
Psychologische Belastungen	Emissionskontrolle wird oft mit Aussagen über Gesundheitsgefahren ohne diese Kontrolle begründet (Krebsgefahr, höhere Herzkrankheits-Rate). Es mag für manche Personen der belastende Eindruck entstehen, daß die persönliche Gesundheit direkt von der ordnungsgemäßen Funktion des Emissionskontrollsystems im eigenen Fahrzeug abhängt.	Furcht vor Erkrankung oder Langzeit-Gesundheitsschäden sowie Unbehaglichkeit und Unsicherheit bei akuten Sinnes- oder Atemweg-Reizungen durch Luftverunreinigungen.

**Bild II.1-11:** Überlegungen der Kalifornischen Behörden, die angesichts der Tatsache, daß „Air Quality Standards“ Emissionskontrollenrichtungen und damit Kosten auslösen würden; bei der Festlegung dieser Standards in die Diskussion einbezogen wurden, nach [191].

Die kalifornischen Behörden legten schließlich unter Berücksichtigung aller zuvor genannten Gedanken die in Bild II.1-12 wiedergegebenen AQ-Standards mit den entsprechenden Begründungen fest. Der in dieser Zusammenstellung genannte Oxidantiengrenzwert von 0,15 ppm, bei dem etwa 50 % der Bevölkerung Augenreizungen wahrnehmen und erste Pflanzenschädigungen auftreten, wurde in den Jahren 1964 bis 1966 in Los Angeles an fast 32 % aller Tage des Jahres (d. h. an rund 120 Tagen/Jahr) für mehr als 1 Stunde überschritten. Für die nächstkritische Stadt Kaliforniens (San Diego) liegt

Schadstoff	„Adverse“ Level	„Serious“ Level	„Emergency“ Level
Oxidantien Ozon NO <sub>2</sub> HC Photochem. Aerosole	Für alle Komponenten zusammen wurde ein <b>Oxidantien-Index</b> von 0,15 ppm/1h festgesetzt <sup>6)</sup>	– 1) 1) 3) –	– 2) 1) 3) –
Begründung	Vermeiden von Augenreizungen, Pflanzenschäden u. Sichtverschlechterung	–	–
CO	–	30 ppm/8h oder 120 ppm/1h <sup>5)</sup>	4)
Begründung	–	Vermeiden von O <sub>2</sub> -Transportbeeinflussung im Blut	–
SO <sub>2</sub>	1 ppm/1h oder 0,3 ppm/8h	5 ppm/1h	10 ppm/1h
Begründung	Vermeiden von Pflanzenschädigungen	Vermeiden von Hustenanfällen	Vermeiden von ernststen gesundh. Störungen
Partikeln	Wenn bei 70% rel. Luftfeuchte die Sicht auf < 3 Meilen absinkt	–	–
1) mangels ausreichender Datenbasis kein Grenzwertvorschlag möglich. 2) ein Wert von 2,0 ppm für 1h kann ernste Gesundheitsstörungen in gesunden Personen hervorrufen und kann bei empfindlichen Personen zu akuter Krankheit führen. 3) HC sind meist nur giftig in Konzentrationen von mehreren hundert ppm; photochem. Reaktionen aber z. T. bei sehr niedrigen Konzentrationen möglich, wodurch giftige und Reizstoffe entstehen; daher sollten vom Gesundheitsstandpunkt aus die photochemisch aktiven HC ≤ „Adverse“ Level des Oxidantien Standards gehalten werden. 4) akute Krankheit kann bei empfindlichen Personen bei 240 ppm/1h eintreten (10% des Hämoglobins sind deaktiviert). 5) da 10% COHb bereits den Sauerstofftransport im Blut gefährden, legte man diesen Standard so, daß nur 5% COHb entstehen können (CO × 0,16 = % COHb, bei Gleichgewicht, bzw. KCT = % COHb bei Berücksichtigung von Aktivität, K = 0,018 bei Ruhe). 6) 0,2–0,6 ppm führen innerhalb 2–4 Std. zu Pflanzenschäden. C = CO-Konzentration [ppm], T = Zeit [h].			

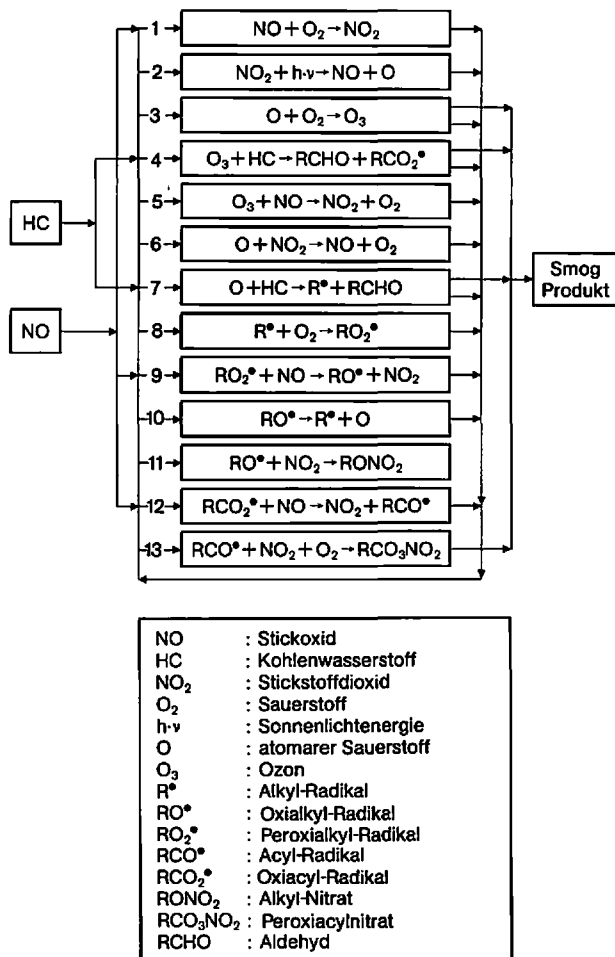
**Bild II.1-12:** Die Kalifornischen „Air Quality Standards“ für Oxidantien, CO, SO<sub>2</sub> und Partikeln mit Begründung und Hinweisen, nach [192].

dieser Wert "nur noch" bei 5,3 % (d. h. Überschreitung an etwa 20 Tagen/Jahr [193]).

Da der atmosphärische Oxidantienwert den typischen "Los Angeles Smog" charakterisiert, dessen Auftreten wiederum als Auslöser zu der heute weltweit vorhandenen Emissions-Kontrollgesetzgebung für Automobile angesehen werden muß, soll an dieser Stelle eine kurze Beschreibung der Smog-Bildungsmechanismen eingefügt werden.

### 1.1.6 Mechanismen der Smog-Bildung

Nach [194] werden die in Bild II.1-13 dargestellten 13 Smog-Bildungs-Reaktionen angenommen. Die Reaktionen (und weitere atmosphärische Bildungsprozesse, die Emissionen aus anderen Quellen als dem Automobil einschließen) können Reaktionen in der homogenen Gasphase, gasförmige Reaktionen an Oberflächen schwebender Partikeln, Adsorption und Reaktionen an Oberflächen schwebender Partikeln oder Reaktionen in der Flüssigphase von Aerosolen sein. Vom Automobil stammen die Reaktionsteilnehmer HC und NO. Die Reaktionen erfolgen gleichzeitig, und in vielen Fällen bilden die Produkte einer Reaktion die Partner für eine nachfolgende Reaktion. In manchen Fällen



entstehen wieder einige der Ausgangsprodukte, wodurch Kettenreaktionen ablaufen [195]. Kohlenwasserstoffe nehmen an 2, Stickoxid an 6 von den 13 dargestellten Reaktionen teil. Die Art und Weise, in der NO und NO<sub>2</sub> reagieren, ist teilweise für die Komplexität des Systems sowie für den unerwarteten Effekt, den Änderungen in der NO-Konzentration auf die Veränderung der Smogbildungsrate haben, verantwortlich [195].

NO<sub>2</sub> verhält sich in zwei gegenläufigen Tendenzen. In der Reaktion 2 absorbiert es Sonnenlicht zum Auslösen der Reaktion, in Gleichung 11 reagiert es mit Oxialkylradikalen zur Bildung eines Alkyl-Nitrats, das die Kette beendet und die Reaktion stoppt. NO<sub>2</sub> beginnt und beendet damit die Smogbildung [195]. Die nach Gleichung 1 in Gang gesetzte Kettenreaktion geht bei Lichtmangel sehr langsam vor sich. So werden z. B. ohne Licht nur 2 % des NO nach 24 Stunden zu NO<sub>2</sub> umgewandelt, und 1600 Stunden würden zur Umwandlung von 97 % benötigt. Bei Lichteinwirkung sind dagegen - wie in Bild II.1-14 gezeigt - z. B. 0,38 ppm NO in 90 Minuten fast völlig in NO<sub>2</sub> umgeformt. Daraus wird deutlich, daß Gleichung 1 eine photochemische Reaktion beschreibt [195].

Bild II.1-13: Smog-Bildungsmechanismen, [193].

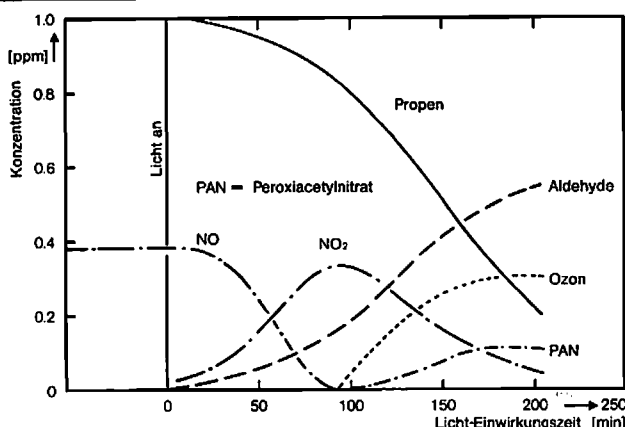


Bild II.1-14: Typische Konzentrationsveränderungen in einer photochemischen Smog-Reaktion, [196].

Fehlen im Prozeß Kohlenwasserstoffe, würden die Reaktionen 2, 3 und 5 ein Gleichgewicht erreichen, bei dem ein extrem niedriges Ozon-Niveau produziert würde. Sind jedoch HC-Verbindungen vorhanden, schreitet Reaktion 7 fort und führt (über Gleichung 8) zur Oxidation von NO zu NO<sub>2</sub> in Gleichung 9. Diese Reaktion läuft schneller als Gleichung 5 ab, wodurch das NO, das normalerweise in Gleichung 5 das Ozon reduzieren würde, aufgebraucht wird. Darüber hinaus findet infolge von Gleichung 10 ein vernachlässigbarer Netto-Verbrauch von Sauerstoff in Reaktion 7 statt [195].

Schließlich produziert Gleichung 3 Ozon und Gleichung 5 (in der Ozon reduziert würde) wird umgangen. Daraus folgt ein starker Ozon-Aufbau, wie er ebenfalls in Bild II.1-14 zu sehen ist. Reaktion 11 ist ein Schritt zur Beendigung der Kettenreaktion, der bei hohen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen (spät in den Reaktionen) dominant wird. Die Reaktionen 4, 7, 12 und 13 zeigen mögliche Bildungsmechanismen der Smogprodukte, die Augenreizungen hervorrufen, sowie für Aldehyde und Peroxiacetylnitrate (PAN) [195].

1.2 Die übrigen 49 Staaten

Nach den in Kap. 1.1 für Kalifornien bereits erläuterten Gedanken und Vorgängen, die zum Erkennen des Automobils als bedeutende Emissionsquelle und Mitverursacher von Smog-Erscheinungen führten und (als Voraussetzung für Emissions-Kontrollvorschriften) die Herleitung von Air Quality Standards beschrieben, sei die Diskussion der Umweltsituation der übrigen 49 Staaten der USA direkt mit der Diskussion der "Air Quality Standards" der EPA ("Environmental Protection Agency") begonnen.

1.2.1 Die "Air Quality Standards" der EPA

In Bild II.1-15 sind die von der EPA am 30. April 1971 vorgeschlagenen und am 28.04.1971 Gesetz gewordenen "Air Quality Standards" wiedergegeben, die auf Vorschläge von D. S. Barth (auf dessen Berechnungen auch die in den "Clean Air Amendments" von 1970 für Automobile verankerten Emissionsgrenzwerte beruhen) zurückgehen. Diese AQ-Grenzwerte sollten Schwellwerte darstellen, die alle empfindlichen Bevölkerungsgruppen vor Gesundheitsschäden durch Luftverunreinigungen schützen würden [203].

Da zu Zeiten der Barth-Studienur wenige Arbeiten über den Effekt der betroffenen Schadstoffe auf die menschliche Gesundheit bei bestimmten atmosphärischen Konzentrationen vorlagen, mußten diese entscheidenden Grenzwerte, aus denen die "Statutory Standards" der USA zur Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen hergeleitet wurden, auf statistisch ungesichertes Material gestützt werden [203].

Schadstoff	Art des Standards	Zu mittlender Zeitraum	Häufigkeits-Parameter	Konzentration [µg/m³]   [ppm]	Gewünschte Luftqualität in der Barth-Studie
CO	Primär und Sekundär	1 h 8 h	} jährl. Max.	40 000   35 10 000   9	9 ppm/8 h max.
HC	Primär und Sekundär	3 h (6 bis 9 Uhr)		160   0,24 als CH <sub>4</sub>	—
NO <sub>x</sub>	Primär und Sekundär	1 Jahr	Arithmet. Durchschnitt	100   0,05	0,10 ppm/1 h max.
Oxidantien	Primär und Sekundär	1 h	jährl. Max.	160   0,08	0,06 ppm/1 h max.

Der CO-Standard basiert hauptsächlich auf einer Studie von Beard und Wetheim [204], die gewisse Verhaltensstörungen bei geringen CO-Dosen zeigte und einer

Bild II. 1-15: Die Primär- und Sekundär-"Air Quality Standards" der EPA mit Vergleich zu den Vorschlägen der Barth-Studie, nach [139 bis 144].

zweiten Studie von Cohen, Deane und Goldsmith {205}, die einen Zusammenhang zwischen hohem CO-Niveau und häufigerem Auftreten von Herzinfarkten bei Patienten mit bereits bestehenden Herzkrankheiten ergab. Der AQ-Standard für  $\text{NO}_x$  wurde ähnlich hergeleitet und basiert auf einer einzigen epidemiologischen Studie, die den Nachweis höherer Atemtrakterkrankungen bei Kindern und deren Familien in der Nähe von Chattanooga unter hohen  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen erbrachte. Zur Festlegung des Oxidantien-Standards diente hauptsächlich eine Studie, die schlechtere Leistung bei Langstreckenläufern ("cross country runners") anzeigte, wenn ein hohes Oxidantienniveau vorlag {201}.

Die in Bild II.1-15 auffallende Ähnlichkeit der Barth-Vorschläge und der von der EPA festgelegten Werte ist verständlich, da sowohl Barth wie auch der Kongreß davon ausgingen, daß die AQ-Standards unterhalb der Schwellwerte liegen sollten, und da sich beide auf die 1969/70 nur in geringer Zahl vorhandenen Forschungsarbeiten stützten {201}.

### 1.2.2 Die Luftqualität in US-Städten vor Beginn der Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen

Zwar wurde die Luftverunreinigung in amerikanischen Großstädten aufgrund besonderer Klima- und Lagebedingungen zuerst in Kalifornien zum bedeutenden Problem, bei bestimmten Wetterlagen erlebten aber auch einige Städte in den übrigen 49 Staaten ähnlich kritische Situationen wie Los Angeles.



Bild II.1-16: Manhattan im Smog im Jahre 1966, [206].

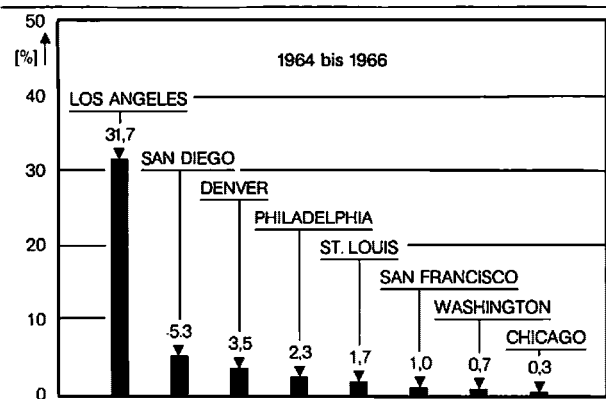
Als charakteristisches Beispiel sei hierzu in Bild II.1-16 das vom Smog eingehüllte Manhattan im Jahre 1966 gezeigt. Die Aufnahme wurde vom "Empire State Building" aufgenommen und verdeutlicht die Auswirkungen des Zusammentreffens eines hohen innerstädtischen Luftverunreinigungsgrades mit einer speziellen Inversionslage, die damals über der mittleren Atlantikküste vorlag. Der "air pollution index" erreichte mit 43,4 eine Höhe, die knapp

unter dem von Experten als Gefahrengrenze angesehenen Wert von 50,0 lag {206}.

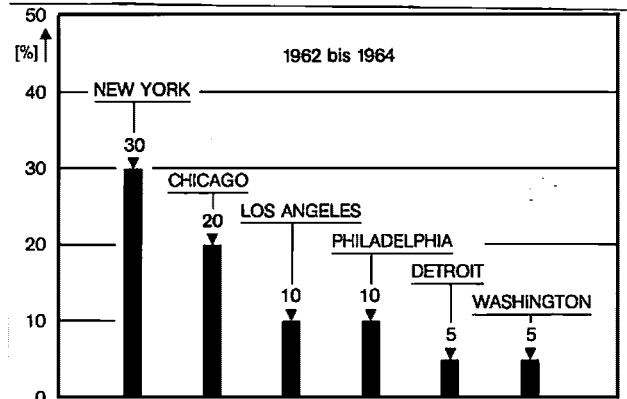
Wie in Kap. 1.1.2 beschrieben, unterscheidet sich der New York-Smog vom Los Angeles-Smog bezüglich des Oxidantiengehaltes in der Atmosphäre. Dieser Unterschied wird deutlich, wenn man verschiedene US-Städte bezüglich Los Angeles-Smog-ähnlicher Ereignisse vergleicht.

In Bild II.1-17, das den prozentualen Anteil der Tage gemittelt für die Jahre 1964 bis 1966 wiedergibt, an denen der kalifornische AQ-Standard für Oxidantien überschritten wurde, findet man New York nicht. Kalifornien-ähnliche Smog-Situationen





**Bild II.1-17:** Vergleich verschiedener US-Städte für prozentualen Anteil von Tagen, an denen der Oxidantien „Air Quality Standard“ von 0.15 ppm/1 h überschritten wurde, nach [207].



**Bild II.1-18:** Vergleich verschiedener US-Städte bezüglich des prozentualen Anteils von Tagen, an denen der CO-„Air Quality Standard“ von 15 ppm/8 h überschritten wurde, nach [208].

treten dagegen in nennenswertem Maße in Denver (viel Sonneneinstrahlung, geringe Luftfeuchte), Philadelphia und St. Louis auf.

Ganz anders ergibt sich die Situation, wenn man die CO-Belastung der Atmosphäre in verschiedenen US-Städten betrachtet. Hier weist New York, wie Bild II.1-18 zeigt, die höchsten Werte auf. Man kann etwa sagen, daß die "Baseline"-Luftqualität (d. h.

Air Quality Standard	Bevölkerung (10 <sup>6</sup> )	Anzahl größerer Städte mit AQ-Std.-Überschreitungen
Jährl. 8 h-Max. für CO	22	25
Jährl. 3 h-Max. für HC	68	600
Jährl. 1 h-Max. f. $\Sigma$ Oxidantien	21	20
Jährl. Mittelwert f. NO <sub>2</sub>	6	2
Gesamtbevölkerung der USA 1962: 186,6 · 10 <sup>6</sup> ; 1968: 200,7 · 10 <sup>6</sup>		

**Bild II.1-19:** US-Bevölkerung, die im Zeitraum von 1962 bis 1968 Luftverunreinigungen ausgesetzt war, die über den nationalen Luftqualitätsstandards lagen, nach [209].

die Luftqualität vor Einsetzen von Emissionskontrollmaßnahmen an Kraftfahrzeugen) in New York bezüglich CO etwa gleich schlecht war wie in Los Angeles bezüglich HC.

Bundesweit betrachtet wurden die festgelegten AQ-Standards sowohl für CO und Oxidantien wie auch für HC in zahlreichen

Städten überschritten, wie es Bild II.1-19 zeigt, und es ist als nächstes zu untersuchen, welchen Anteil das Automobil an dieser Situation hatte.

### 1.2.3 Der Anteil des Automobilverkehrs an der Ausgangs-Luftqualitäts-Situation der USA

Als Verursacher für die Schadstoffkonzentrationen in der Stadtluft gelten stationäre und mobile Emissionsquellen, wobei den stationären Quellen keine geringere Aufmerksamkeit zu schenken ist als den Transportmitteln. Von den meist als typisch fahrzeugbezogen angesehenen drei Schadstoffen HC, CO und NO<sub>x</sub> stammte, wie Bild II.1-20 zeigt, in den Jahren 1967 beziehungsweise 1968 nur CO in allen Fällen zum weit überwiegenden Teil aus Automobilabgasen (in 12 Städten zu mehr als 90 %), während beim HC und besonders beim NO<sub>x</sub> stationäre Quellen an Bedeutung gewannen oder sogar überwogen (beim NO<sub>x</sub> in 11 der 22 Städte).

Bundesweit auf Massenebene betrachtet, verschiebt sich das Bild noch mehr zugunsten der mobilen Emissionsquellen, die zwar in den Jahren 1968 und 1969 für 60 bis 75 % der CO-, jedoch nur für 48 bis 53 % der HC- und für 35 bis 47 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich waren [211, 212, 213].

Gebiet	Jahr der Studie	CO [%]		HC [%]		NO <sub>x</sub> [%]	
		Mobil	Stationär	Mobil	Stationär	Mobil	Stationär
Chicago	1967	94	6	81	19	35	65
Denver	1967	93	7	78	22	48	52
Los Angeles	1966	95	5	72	28	73	27
New York	1965	96	4	84	16	38	62
Philadelphia	1967	70	30	47	53	27	73
Washington, D.C.	1966	96	4	86	14	44	56
Dallas	1967	97	3	93	7	80	20
Phoenix-Tuscon	1967	94	6	87	13	71	29
Portland, Oregon	1968	72	28	64	36	79	21
Cincinnati	1967	85	15	83	17	34	66
Louisville	1967	75	25	83	17	35	65
Miami	1968	90	10	7	93	60	40
Atlanta	1968	89	11	86	14	71	29
Houston	1967	75	25	58	42	43	57
New Orleans	1968	47	53	49	51	56	44
Oklahoma City	1968	98	2	49	51	69	31
Pittsburgh	1967	80	20	70	30	29	71
St. Louis	1967	77	23	80	20	48	52
Charlotte	1968	92	8	86	14	28	72
Hartford	1967	95	5	82	18	52	48
Indianapolis	1967	85	15	86	14	52	48
Providence	1967	95	5	88	12	56	44
National		65	35	46	54	38	62
National Σ [10 <sup>6</sup> t]		98	53	17	20	9	15

**Bild II.1-20:** Aufteilung der Emissionsanteile zwischen mobilen und stationären Emissionsquellen in den USA im Zeitraum von 1965 bis 1967, nach [210].

#### 1.2.4 Die Auswirkungen der ersten Maßnahmen zur Begrenzung der Emissionen aus Kraftfahrzeugen

Die Auswirkungen der ersten Emissionskontrollgesetzgebung auf die Luftqualität kann etwa folgendermaßen veranschaulicht werden: Im Jahre 1961 trugen Kurbelgehäuse-"Blowby"-Gase noch mit 113 g HC/Tag<sup>x)</sup> zur atmosphärischen Belastung bei. Ab 1963 war diese Emissionsquelle eliminiert [214].

Emission	Quelle	1940	1950	1960	1968	1969	1970
HC	Transport	7,5	11,8	18,0	20,2	19,8	19,5
	Andere	11,6	13,8	13,6	15,1	15,4	15,2
	Σ	19,1	25,6	31,6	35,3	35,2	34,7
	Transp. als [%] v. Σ	39	46	57	57	56	56
CO	Transport	34,9	55,4	83,5	113,0	112,0	111,0
	Andere	50,5	47,6	44,5	37,0	42,0	36,0
	Σ	85,4	103,0	128,0	150,0	154,0	147,0
	Transp. als [%] v. Σ	41	54	65	75	73	76
NO <sub>x</sub>	Transport	3,2	5,2	8,0	10,6	11,2	11,7
	Andere	4,7	5,2	6,0	10,7	11,3	11,0
	Σ	7,9	10,4	14,0	21,3	22,5	22,7
	Transp. als [%] v. Σ	41	50	57	50	50	52
SO <sub>2</sub>	Transport	0,7	1,0	0,7	1,1	1,1	1,0
	Andere	20,8	22,8	22,6	30,2	31,3	32,9
	Σ	21,5	23,8	23,3	31,3	32,4	33,9
	Transp. als [%] v. Σ	3,3	4,2	3,0	3,5	3,4	3,0

**Bild II.1-21:** Abschätzung der Schadstoffemissionen durch Transportaktivitäten in den USA von 1940 bis 1970 in [10<sup>6</sup> t/Jahr], nach [215].

HC-Emissionen aus dem Auspuff beliefen sich vor entsprechender Kontrolle auf etwa 354 g/Tag<sup>x)</sup>, wurden jedoch ab 1966 in Kalifornien und ab 1968 landesweit auf 108 g/Tag<sup>x)</sup> (d. h. um rund 70 %) reduziert. Als 1970 Verdunstungsemissionen in Kalifornien begrenzt wurden, sanken die entsprechenden HC-Emissionen von etwa 100 g/Tag<sup>x)</sup> ("ungereinigtes" Fahrzeug) auf rund 12 g/Tag<sup>x)</sup> ab. Im Jahre 1971 war die ge-

samte HC-Emission aus Motorfahrzeugen landesweit auf 84 g/Tag<sup>x)</sup> gesunken, was einer 85%igen Reduzierung des 1960er Niveaus entsprach. Für CO erreichte man im Jahre 1968 eine etwa 60%ige Absenkung und erhöhte diesen Erfolg im Jahre 1970 auf 70 %. Da HC- und CO-Reduzierungen meist durch magerere Gemische erreicht wurden, stieg das NO<sub>x</sub>-Niveau zunächst an. Durch erstmalige Begrenzung dieser Komponente im Jahre 1971 (in Kalifornien) verringerte man das NO<sub>x</sub>-Niveau jedoch wieder auf den Wert eines unge-  
reinigten Fahrzeugs (4,0 g/mile) {214}. \*) [g/Tag/Fahrzeug]

Diese Ende der 60er/Anfang der 70er Jahre bundesweit erzielten Verringerungen spiegeln sich in der Übersicht in Bild II.1-21 wider, die die Veränderung der Emissionen von vier charakteristischen Schadstoffen für den Sektor "Transport" für den Zeitraum von 1940 bis 1970 darstellt und dessen Anteil an der jeweiligen Gesamtemission abschätzt.

#### 1.2.5 Die Überwachung der landesweiten Luftqualität: das AEROS-System

Die US-EPA unterhält ein ausgedehntes Informationssystem über die Luftqualität im ganzen Land, das sogenannte "Aerometric and Emissions Reporting System" (AEROS). Dieses System wird durch den "National Air Data Branch" - NADB - (Monitoring and Data Analysis Division, Office of Air Quality, Planning and Standards, US-EPA, Research Triangle Park, North Carolina) verwaltet. Als Teil dieses AEROS funktioniert das "National Emissions Data System (NEDS), das die zur Erstellung eines Berichtes über die nationale Umweltsituation der USA erforderlichen Daten liefert {216}. Dieser Bericht ("National Emissions Report") faßt die jährlichen Abschätzungen von fünf Luftverunreinigungen zusammen (Partikeln, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, CO) und muß der EPA gemäß entsprechenden Forderungen im ergänzten "Clean Air Act" (Sec. 110) sowie gemäß Bundesgesetz ("Code of Federal Regulations Title 40, Part 51.7") zur Verfügung gestellt werden.

Das NEDS wurde im Jahre 1971 etabliert und dient der Beschaffung von Datenmaterial, das eine Beurteilung der Luftqualität auf staatlicher oder lokaler Basis ermöglichen soll. Die Informationen werden in den drei nachfolgend genannten Bereichen gesammelt.

##### 1.2.5.1 Die NEDS-Datensammlung über Punkt-Quellen

In diesem Programm werden Informationen über Emissionen aus stationären Quellen, die als individuelle Emittenten relativ großer Mengen einer oder mehrerer Luftverunreinigungen gelten, gesammelt. Eine Punktquelle ist hierbei eine Anlage, die das Potential hat, irgendeinen Schadstoff pro Jahr in Massen > 100 t zu emittieren. Unter Potential wird hierbei diejenige Emissionssituation verstanden, die eintreten könnte, wenn vorhandene Emissionskontrollmaßnahmen nicht wirken würden. Innerhalb einer betrachteten Anlage werden wiederum Emissionspunkte (z. B. Schornsteine einer Fabrik) definiert, um die Emissionen einzelnen Prozessen zuordnen zu können.

Im Jahre 1976 enthielt das NEDS Daten über 93.000 Emissionspunkte in 34.000 Anlagen des gesamten Landes.

Gemäß den Forderungen des "Clean Air Act" und den darauf basierenden "State Implementation Plans" (SIP's), d. h. Programmen der Einzelstaaten zum Einhalten der nationalen Luftqualitätsstandards ("National Ambient Air Quality Standards" - NAAQS), müssen die Einzelstaaten der EPA halbjährlich über alle im NEDS zu berücksichtigenden Quellen berichten, wodurch die NEDS-Reports stets auf neuestem Stand sind.

#### 1.2.5.2 Die NEDS-Datensammlung über Flächen-Quellen

Unter Flächen-Quellen werden alle Emittenten verstanden, die nicht als Punkt-Quellen berücksichtigt wurden. So sind in diesem Programm auch alle Automobile enthalten. Es erfolgt jedoch keine individuelle Speicherung von Daten dieser Quellen im NEDS, sondern es werden nur die Abschätzungen der Gesamtemissionen einer Emittengruppe für bestimmte geographische Gebiete festgehalten. Daten über Flächen-Quellen werden im allgemeinen in die  $\approx$  3.100 "counties" (Landkreise) der USA eingeteilt.

Gemäß den gültigen SIP's müssen die Einzelstaaten keine Angaben über Flächen-Quellen an die EPA machen. Daher werden diese Informationen jährlich durch den NADB auf den neuesten Stand gebracht.

#### 1.2.5.3 Die NEDS-Datensammlung über Emissionsfaktoren

Anhand der gemäß Kap. 1.2.5.1 und Kap. 1.2.5.2 gesammelten Daten können für neue Quellen sofort Emissionen per NEDS-Computer berechnet werden. Dies geschieht hauptsächlich mit dem "emission factor file", d. h. mit der Sammlung von Emissions(bewertungs)faktoren. Ein Emissionsfaktor ist das statistische Mittel (eine quantitative Schätzung) der Rate, mit der ein bestimmter Schadstoff emittiert wird (z. B. durch Verbrennung in einem Industrieprozess), bezogen auf die Stärke oder den Umfang der verursachenden Aktivität (z. B. bezogen auf die Masse des verbrannten Kraftstoffs).

Diese Faktoren können als statistische Mittelwerte nicht direkt auf Einzelemittenten angewendet werden. Sie erlauben jedoch bei hoher Probenzahl (z. B. Gesamt-Emissionen der USA) eine relativ exakte Abschätzung. Bei Anwendung der Faktoren auf wenige Proben (z. B. einzelne geographische Regionen) steigt die Fehlerwahrscheinlichkeit.

Die Emissionsfaktoren des NEDS werden in {217, 218, 219, 220} gesammelt und veröffentlicht und geben besonders hinsichtlich des Automobils aufschlußreiche Informationen über die EPA-Einschätzung des Emissionspotentials dieser mobilen Quelle im Neuzustand und bei Alterung. Im Abschlußdokument vom März 1978 {221} werden Emissionsfaktoren für "49-Staaten-Fahrzeuge", "Kalifornien-Versionen" und Automobile, die zum Verkauf in "Höhengebiete" vorgesehen sind, angegeben. Die detaillierten Informationen liefern unter anderem Korrekturfaktoren für Bedingungen, die nicht (oder nicht vollständig) vom Zertifikationstest erfaßt werden, wie z. B.:

- Geschwindigkeit/Temperatur/Heiß- und Kaltstart
- Betrieb mit Klimaanlage

- Betrieb mit beladenem Fahrzeug
- Betrieb mit Anhänger
- Luftfeuchte-Einfluß
- Leerlaufbetrieb

Darüber hinaus werden das Verhältnis von reaktiven zu nicht-reaktiven Kohlenwasserstoffen im Fahrzeugabgas sowie der Einfluß von Inspektions- und Wartungsarbeiten abgeschätzt.

#### 1.2.6 Die Luftqualitätssituation 5 Jahre nach dem Beginn bundesweiter Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen

Der Beitrag aller Motorfahrzeuge sowie ausschließlich der Pkw mit Otto-Motoren zur gesamten in die Atmosphäre emittierten Schadstoffmasse für das Jahr 1973 ist in Bild II.1-22 veranschaulicht. Darüber hinaus wurde aus den umfangreichen Informationen im 1976 veröffentlichten, für das Jahr 1973 gültigen "National Emissions Report" [216]

Emittent \ Schadstoff [10 <sup>6</sup> t/Jahr]	HC	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	Partikeln
Alle Quellen in den USA	23,78	97,02	21,75	32,70	15,92
Alle Motorfzge. m. Otto-Motor	11,75	73,00	6,84	0,21	0,78
[%]	49,4	75,2	31,4	0,64	4,9
Nur PKW m. Otto-Motor	9,12	54,51	5,84	0,17	0,69
[%]	38,4	56,2	26,9	0,52	4,3

**Bild II.1-22:** Anteil der durch PKW mit Otto-Motoren verursachten Emissionen an der Gesamt-Luftqualitätsbelastung in den USA (bezogen auf das Jahr 1973), nach [222].

Histogramme erarbeitet, in denen sich die bundesweite und lokale Luftqualitätsbelastung durch Motorfahrzeuge widerspiegelt. Im Sinne dieser Arbeit wurden hierbei die Darstellungen auf die Daten von Pkw ("light vehicles") begrenzt. Bei der Klasseneinteilung sind die 9 bis 10 Staaten mit den jeweils höchsten Schadstoffanteilen namentlich erwähnt.

Wie Bild II.1-23 zeigt, liegt Kalifornien bezüglich der durch Personenkraftwagen pro Jahr emittierten Schadstoffmassen in allen betrachteten Komponenten (HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Partikeln) mit großem Abstand an der Spitze aller Bundesstaaten. Man kann anhand der Darstellungen etwa von einer 100 % höheren Emissionsbelastung Kaliforniens gegenüber dem nächst-gefährdeten Staat (New York) sprechen.

Neben diesem Extremfall konzentrieren sich in den Diagrammen ungefähr 9 Bundesstaaten in einer "mittleren" und etwa 40 Bundesstaaten in einer "unteren" Gruppe. In der "mittleren" Staatengruppe werden zwar durchweg weniger als die Hälfte der in Kalifornien durch Pkw verursachten Schadstoffe in die Atmosphäre emittiert, das verbleibende Niveau dürfte jedoch in den Städten dieser Staaten noch Gefährdungspotential besitzen. Die "untere" Gruppe, in der 80 % aller Bundesstaaten repräsentiert sind, liegt im Mittel um eine Größenordnung unter den kalifornischen Werten.

Obwohl das obengenannte Bild einen guten Vergleich der Gesamtemissionsbelastung verschiedener Staaten auf Massensbasis bietet, können erst Konzentrationsangaben auf lokaler Basis, die allein direkt mit AQ-Standards vergleichbar wären, Aussagen über die Rangfolge gefährdeter Gebiete in diesen Staaten machen. Bild II.1-24 zeigt, daß in den 10 höchstbelasteten Staaten zwischen 66 und 93 % der Gesamtbevölkerung in der

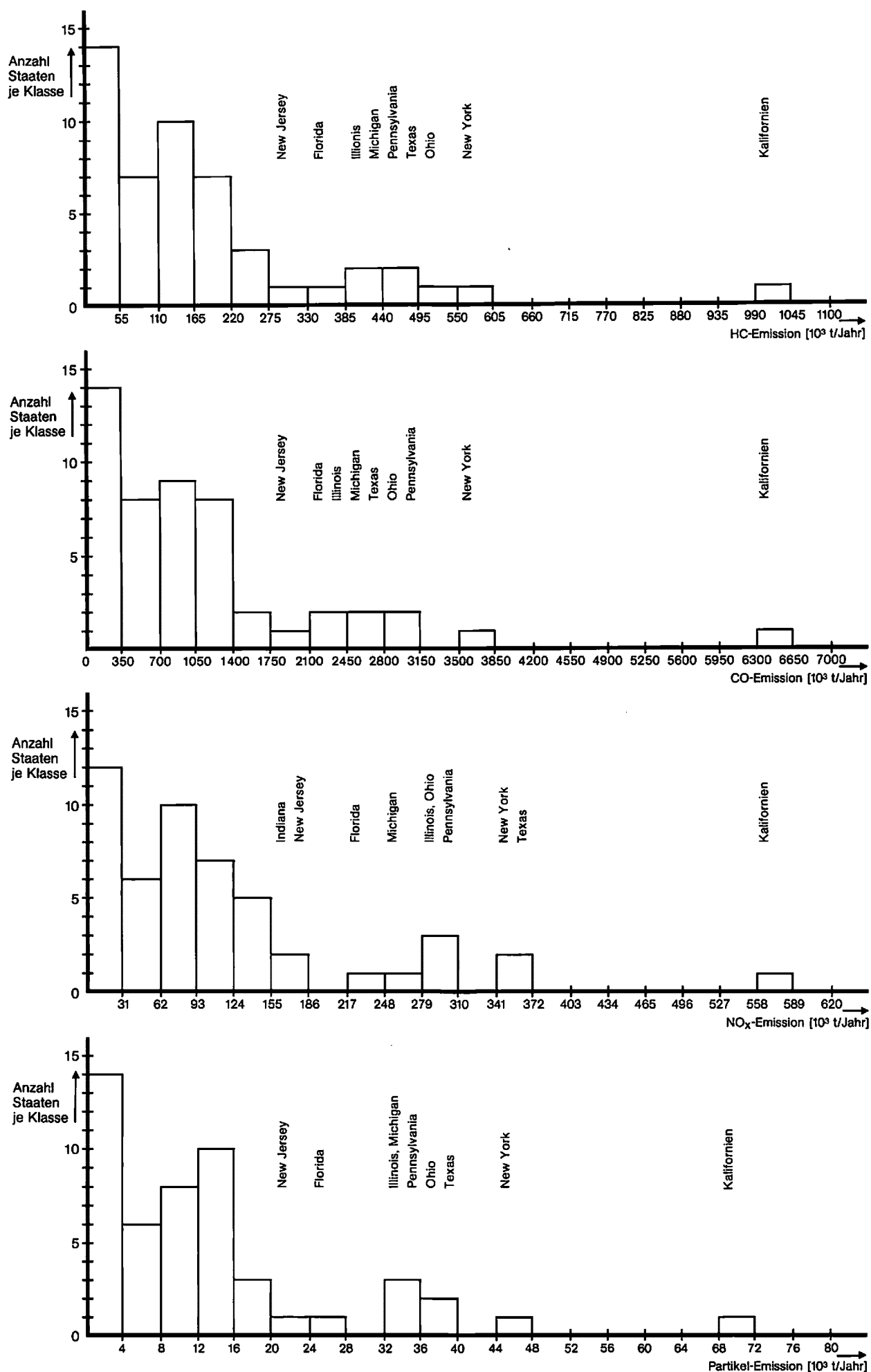
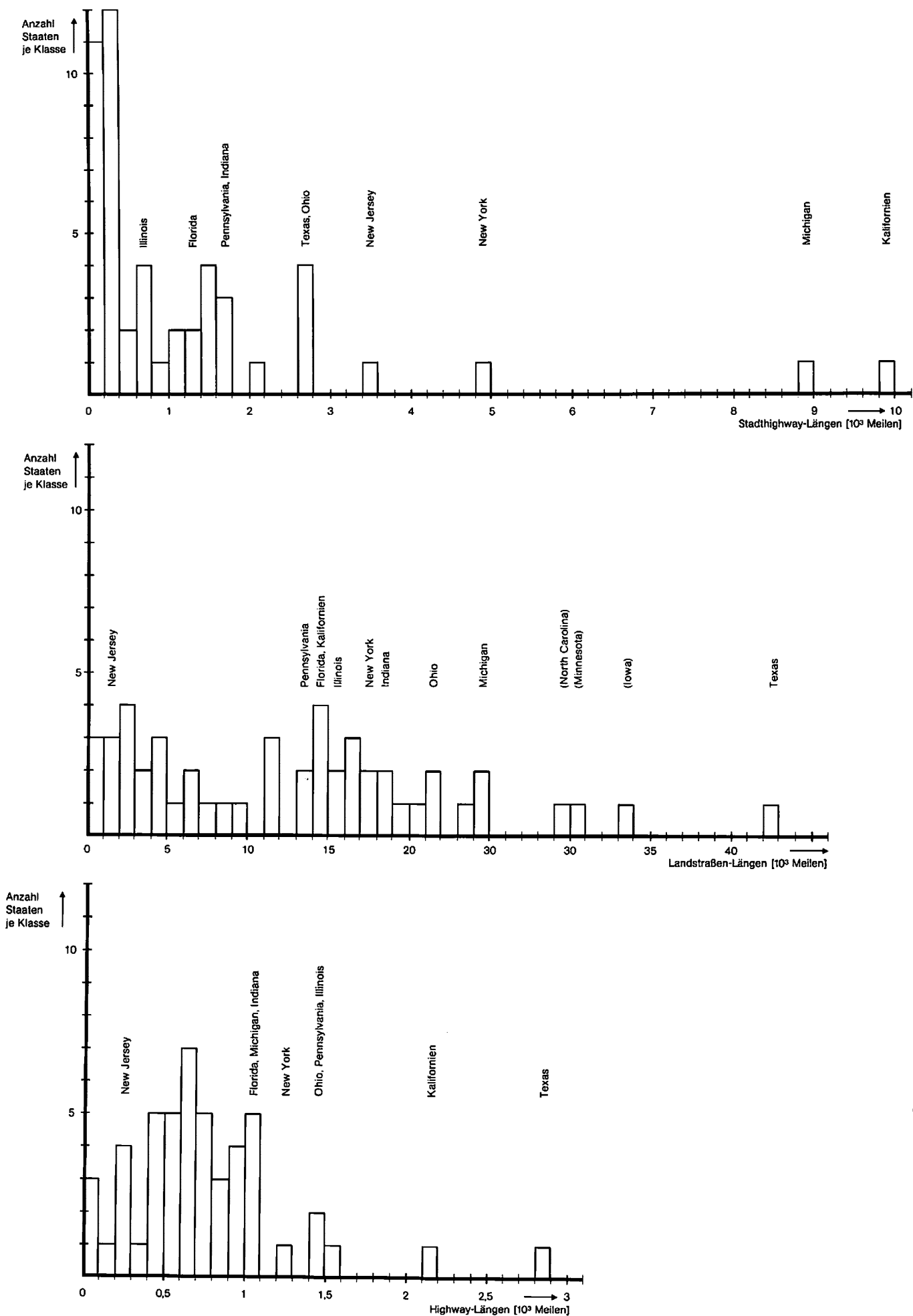


Bild II.1-23: Verteilung der durch PKW („light vehicles“) verursachten Emissionsbelastung in den einzelnen US-Bundesstaaten, nach [223].



**Bild II.1-25:** Verteilung verschiedener Straßenlängen auf die einzelnen US-Bundesstaaten, nach [225].

Staat	Anzahl Städte > 100 000 Einwohner	Anteil der Bevölkerung dieser Städte an Gesamt- bevölkerung d. Staates [%]	Anteil der Bevölkerung des Staates, der in Stadt- gebieten wohnt [%]
Kalifornien	20	35	93
New York	4	48	89
Texas	10	38	78
Pennsylvania	5	22	81
Ohio	9	26	81
Michigan	8	25	83
Illinois	3	30	82
Florida	8	24	84
New Jersey	6	14	94
Indiana	6	27	66

**Bild II.1-24:** Verteilung der Bevölkerung der 10 am stärksten durch Emissionen aus PKW belasteten Staaten der USA auf Großstadt- und Stadtgebiet, nach [223, 224]. Die Reihenfolge der Staaten entspricht dem Belastungsgrad, die Angaben beziehen sich auf das Jahr 1975.

Stadt wohnen. Hierbei konzentrieren sich im Fall des Staates New York fast 50 % dieser Gesamtbevölkerung in Großstädten über 100.000 Einwohner.

Da lokale Schadstoffkonzentrationsmaxima nicht unwesentlich von den herrschenden Verkehrsbedingungen abhängen, seien zur weiteren Vervollständigung des Umweltbildes der US-Bundesstaaten in Bild II.1-25

noch die Verteilungen von Stadthighway-, Highway- und Landstraßenlängen dargestellt. Aus den Bildern II.1-23, II.1-24 und II.1-25 lassen sich wichtige Aussagen zu Umwelthaspekten ableiten. Am Beispiel Texas/New York wird z. B. deutlich, daß der bezüglich CO-Emissionsbelastung aus Pkw an vierter Stelle liegende Staat Texas trotz Vorhandensein von 10 Städten über 100.000 Einwohner, in denen 36 % der gesamten Bevölkerung des Staates leben, nur ein halb so langes Stadthighway-Netz besitzt wie z. B. der Staat New York mit seinen nur vier Städten über 100.000 Einwohner. Gerade Stadthighways aber können durch Erzeugung eines gleichmäßigen Verkehrsflusses, hoher Durchschnittsgeschwindigkeiten und durch das schnelle Erreichen der Motorbetriebstemperatur nach Kaltstarts spürbare Verringerungen besonders von CO-Spitzenkonzentrationen in Stadtgebieten bewirken.

## 2. Der Gesetzgebungsprozeß in den USA

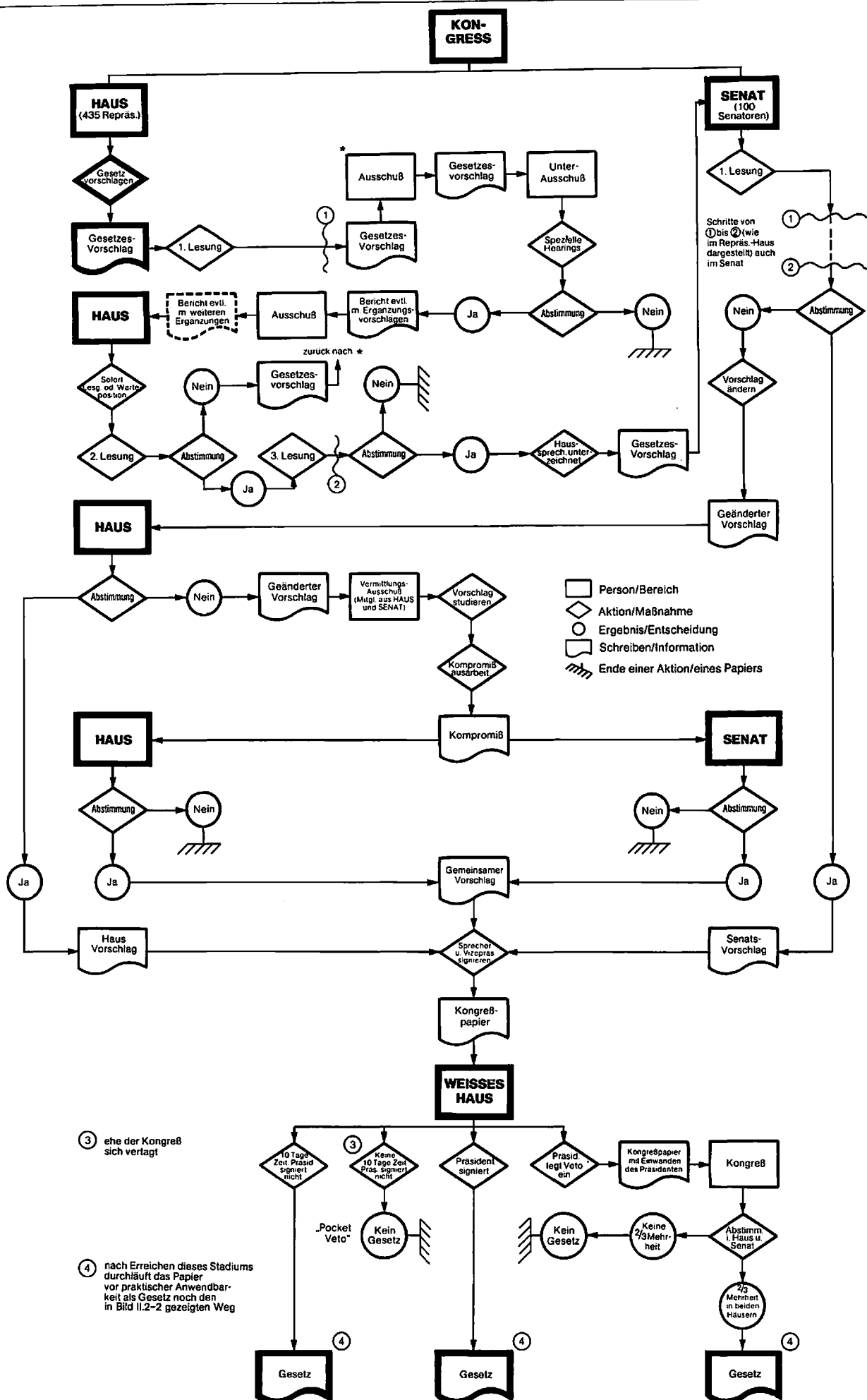
Die Automobilindustrie ist an einer möglichst frühzeitigen Bekanntgabe von neuen oder veränderten Emissionskontrollgesetzen interessiert, um Planung und Entwicklung sowie Serienvorbereitungen ohne unnötige Zusatzkosten und Risiken abwickeln zu können. Gerade im Land der umfangreichsten Emissionskontrollgesetzgebung - den USA - ist diese Forderung jedoch nicht erfüllt. Um die mit dem US-Gesetzgebungsprozeß verbundene Problematik besser verstehen zu können, ist es hilfreich, sich den Werdegang eines Gesetzes vom Vorschlagsstadium bis zur anwendbaren Ausführungsbestimmung - die letztlich erst als "Arbeitsanweisung" seitens der Industrie verwendet werden kann - zu veranschaulichen.

### 2.1 Vom Vorschlag bis zur Unterschrift durch den Präsidenten

Der in Bild II.2-1 gezeigte Ablauf, nach dem etwa 95 % aller Fälle abgewickelt werden, wurde nach Studium der Quellen {226, 227, 228} in graphische Form gebracht und ist durch einige mit {229} erarbeitete Zusatzausführungen ergänzt.

Die Darstellungen zeigen den Werdegang eines beliebigen Gesetzesvorschlages, der





**Bild II.2-1:** Gesetzgebungsprozeß in den USA am Beispiel eines Gesetzes-Vorschlages aus dem Repräsentanten-Haus, nach [226 bis 229].

beispielsweise im Repräsentantenhaus (nachfolgend nur "Haus" genannt) eingebracht wurde. Der Ablauf gilt sinngemäß gleichermaßen für Vorschläge, die im Senat ihren Ursprung haben, es kann auch vorkommen, daß der Vorschlag zugleich von Haus und Senat initiiert wird, wie es z. B. bei den "Clean Air Act Amendments" der Fall war. Da im Zusammenhang mit der Emissionskontrollgesetzgebung meist nur die als "Bill" bezeichneten Gesetzesvorschläge interessant sind, werden die übrigen Formen derartiger Vorschläge ("Joint Resolution", "Concurrent Resolution" und "Simple Resolution") an dieser Stelle nicht näher erläutert.

Ein "Bill" aus dem Haus erhält als Kennzeichnung die Buchstaben "H. R." vor seine laufende Nummer, ein "Bill" aus dem Senat wird mit "S" gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung wird jeweils während des gesamten Durchlaufs durch die Legislative beibehalten. Nach Einbringen des Vorschlags (was im Haus recht unförmlich durch Ausfüllen eines Vordruckes ohne Stellungnahme oder Ankündigung seitens des vorschlagenden Repräsentanten, im Senat recht förmlich mittels verbaler Einführung durch den vorschlagenden Senator selbst erfolgt) leisten in beiden Häusern die sogenannten "standing committees", d. h. die Arbeitsausschüsse, die Hauptarbeit. Von diesen Ausschüssen gibt es im Haus 22 und im Senat 17. Sie bedienen sich zur Klärung von Spezialfragen sogenannter "Subcommittees", d. h. Unterausschüsse. Letztere sind z. B. im Rahmen der zur Emissionskontrollgesetzgebung ständig erforderlichen "Hearings" (Anhörungen der Auto-, Mineralöl- und Zuliefererindustrie sowie zahlreicher anderer Stellen) allgemein bekannt geworden.

Nach der Rückkehr ins Haus erfolgt, je nach Dringlichkeit, sofort die zweite Lesung oder andere Arbeiten werden vorgezogen. Wenn - wie im Rahmen dieser Beschreibung angenommen - jeweils glatter Durchlauf erfolgt, findet nach Abstimmung die dritte Lesung statt und nach Unterzeichnung des Vorschlags durch den Haus-Sprecher wird das Papier dem Senat zugeleitet (oder umgekehrt, falls der Vorschlag im Senat entstand). Sobald auch im Senat der in Bild II.2-1 zwischen den Punkten 1 und 2 beschriebene Vorgang beendet ist, kommt es zur Abstimmung über das Haus-Papier.

An dieser Stelle muß der oben vereinbarte "reibungslose" Durchlauf verlassen werden, denn gerade im Rahmen der Emissionskontrollgesetzgebung führte unterschiedliche Meinung in beiden Häusern schließlich zur Einschaltung des Vermittlungsausschusses. Ihm gehören Mitglieder aus Haus und Senat an, und er muß einen Kompromiß ausarbeiten. Nehmen Haus und/oder Senat den Kompromiß an, geht der gemeinsame Vorschlag als Kongreßpapier ins Weiße Haus. Dieses Kongreß-Papier kann, wie in Bild II.2-1 bei 4 gezeigt, in drei Fällen zum Gesetz werden:

- a) wenn der Präsident es signiert,
- b) wenn der Präsident versäumt, innerhalb von 10 Tagen Stellung zu nehmen (wobei Bedingung ist, daß der Kongreß noch arbeitet),
- c) durch Überstimmen des Einspruchs des Präsidenten infolge einer Abstimmung mit 2/3 Mehrheit in beiden Häusern.

Letzterer Vorgang wird als "pocket veto", d. h. als ein nicht zum Tragen gekommener Einspruch des Präsidenten bezeichnet. - 72 -

## 2.2 Von der Unterschrift des Präsidenten bis zur Veröffentlichung im "Federal Register"

Noch immer ist das inzwischen als Gesetz "freigegebene" Werk nicht praktisch anwendbar. Es wird dem für die angesprochene Thematik verantwortlichen Bundesamt zugeleitet, das es über die in Bild II.2-2 gezeigten Zwischenschritte schließlich als Vorschlag im "Federal Register" (Bundesgesetzblatt) veröffentlicht. Diese Veröffentlichung

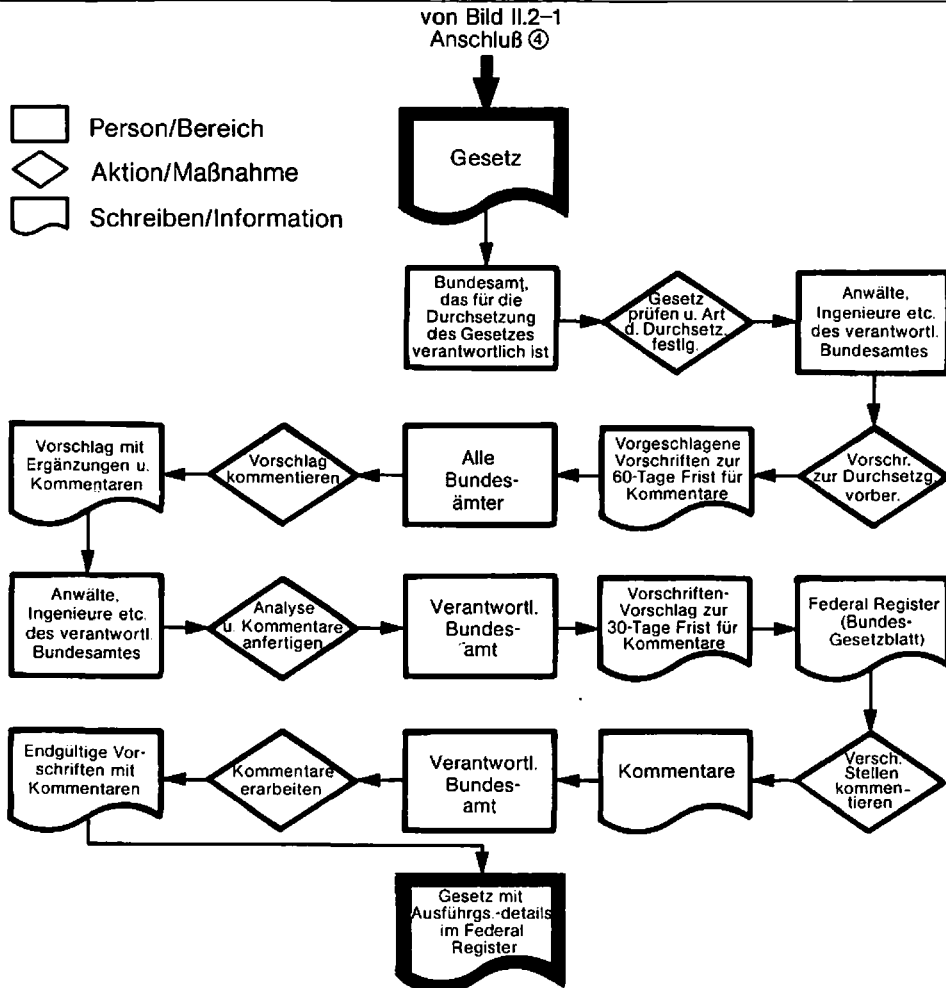


Bild II.2-2: Werdegang eines Gesetzes nach Annahme bis zur praktischen Anwendbarkeit, d. h. bis zur Veröffentlichung im Bundesgesetzblatt (Federal Register), nach [226 bis 229].

als Vorschlag ist der Zeitpunkt, zu dem den später von diesem Gesetz Betroffenen erstmals alle Details bekanntgemacht werden. Oft treten erst jetzt gravierende Auflagen zutage, die das natürlich zu diesem Zeitpunkt längst bekannte allgemeine Ziel des Gesetzes unerwartet erschweren können.

Es kommt selten vor, daß aufgrund von Kommentaren (z. B. seitens der Automobilindustrie) grundlegende Änderungen stattfinden. Oft wird in der Präambel in der endgültigen "Federal Register"-Veröffentli-

chung nur begründet, weshalb Kommentare, die wesentliche Änderungen forderten, nicht eingearbeitet wurden.

Erst mit Veröffentlichung der endgültigen Vorschriften und Ausführungsbestimmungen im "Federal Register" kann eine Ausrichtung der notwendigen Arbeiten seitens der Industrie zur Erfüllung dieser Vorschriften erfolgen.

## 2.3 Interpretationen des "Federal Register" durch die "Advisory Circulars" der EPA

An dieser Stelle muß noch darauf hingewiesen werden, daß im Falle der Emissionskontrollgesetzgebung die Bestimmungen des "Federal Register" oft Interpretationsspielraum zulassen, der sich erst bei der praktischen Anwendung der Regelungen zeigt. Diese Unklarheiten können zu weiteren Zeitverzögerungen im Gesamtablauf z. B. eines Zertifizierungsverfahrens führen, da Diskussionen mit der Umweltschutzbehörde zur

Klärung der offenen Fragen geführt werden müssen.

Da verschiedene Hersteller meist auch mit unterschiedlichen Fragen erscheinen, wird die Umweltschutzbehörde (EPA = "Environmental Protection Agency") oft auf das Erscheinen eines sogenannten "Advisory Circular" (AC) verweisen, das alle Zweifelsfragen behandelt und die Interpretation der EPA zum "Federal Register" darstellt. Ohne selbst Gesetzeskraft zu haben, sind es eigentlich erst diese "Advisory Circulars" der EPA, die es z. B. dem Zertifizierungsbereich eines Automobilherstellers erlauben, abgesichert zu arbeiten und den betroffenen hausinternen Entwicklungsabteilungen zuverlässige Arbeitsanweisungen im Rahmen der Zertifikation zu erteilen.

Der beschriebene Werdegang eines Gesetzesvorschlages bis zu der schließlich praktisch verwertbaren Detailerklärung im "Advisory Circular" kann viele Monate Zeit in Anspruch nehmen, wobei sich die Situation noch wesentlich verschlechtert, wenn der Kongreß vor seiner Vertagung - wie mehrfach vorgekommen - keine Einigung mehr erreichen konnte. Es läßt sich kaum erfassen, welcher unnötiger Aufwand, z. B. durch Parallelentwicklungen, Kapazitäts- und Kostenbelastungen, der Automobilindustrie allein durch langwierige Gesetzgebung bei der Lösung der Emissionskontrollauflagen entstanden sind und wohl auch künftig entstehen werden.

### 3. Historische Entwicklung und Ziele der Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw in den USA

Nachdem im vorigen Kapitel die grundsätzlichen Zusammenhänge bei der Entstehung eines US-Gesetzes aufgezeigt wurden, sei nachfolgend der Umfang eines der wesentlichsten Gesetzgebungswerke der USA - der Komplex der Emissionskontrollgesetzgebung - diskutiert. Hierbei gehen die Betrachtungen auf die Anfänge der in dieser Arbeit angesprochenen Umweltschutzgesetze zurück, damit deren heutiger Status und künftige Entwicklungsmöglichkeiten im Gesamtzusammenhang verständlich werden.

#### 3.1 Kalifornische Behörden und -Gesetzgebung

Wenn von der Emissions-Kontrollgesetzgebung der USA gesprochen wird, so ist zu bedenken, daß es in den USA markante Unterschiede zwischen den Vorschriften des Staates Kalifornien und denen der restlichen 49 Bundesstaaten gibt. Sowohl unter historischen wie auch technischen Aspekten muß daher eine getrennte Betrachtung der kalifornischen Behörden und Gesetze erfolgen.

##### 3.1.1 Der "California Health and Safety Code" und das "California Department of Public Health"

Der "California Health and Safety Code" stellt das bereits im 19. Jahrhundert zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung (z. B. in den Goldminen-Camps) entstandene Rahmengesetz dar, dem auch alle späteren Luftreinhaltungs- und Emissionskontrollgesetze beigelegt wurden.

Die im Gesetzeswerk des "Health and Safety Code" verankerten Bestimmungen wurden von dem zu gleicher Zeit entstandenen "California Department of Public Health" ver-

waltet, das sich unter anderem der nachfolgend erwähnten Bereiche des "State Board of Public Health" und des "Bureau of Air Sanitation" bediente.

### 3.1.2 Ursprung der Kalifornischen Gesetze: Der "Stewart-Act" von 1947

Als entwicklungsgeschichtlicher Beginn aller heutigen Emissionskontrollvorschriften für Pkw können in Kalifornien die Ende der 40er Jahre einsetzenden Bemühungen zur Reduzierung des allgemeinen Luftverunreinigungsproblems angesehen werden. Mit Verabschiedung des "Stewart-Act" von 1947 wurden die einzelnen Landesbezirke ("counties") in die Lage versetzt, sogenannte "air pollution control districts" festzulegen {230}. Nach Einsatz der obengenannten Gesetzgebung bestimmte Los Angeles als erster Bezirk einen solchen Luftverunreinigungskontrollbereich und erließ dafür Vorschriften zur Rauch-, Dampf- und SO<sub>x</sub>-Kontrolle aus Industriebetrieben. In der Folgezeit wurden offene Feuer und private Müllverbrennung verboten, und weitere Bezirke Südkaliforniens folgten diesem Weg {230}.

Mit der Abnahme der Emissionen aus Industriebetrieben ergab sich die Erkenntnis, daß der Kraftfahrzeugverkehr eine Hauptquelle für die sich verstärkende Luftverunreinigung im Staat Kalifornien darstellte {231}. Die ersten, speziell auf Emissionen aus Kraftfahrzeugen zielenden Vorschriften, finden sich in der kalifornischen Emissionskontrollgesetzgebung von 1957. Der neu hinzugefügte Passus sah vor, daß "Air Pollution Control Boards": a) Funktionstüchtigkeitsnormen ("performance standards") für jeden Artikel, jedes Teil, jede Ausrüstung oder jedes Kontrollverfahren für Automobilemissionen festlegen und b) Berechtigungen zum Verkauf solcher Teile oder Verfahren anerkennen oder aussprechen sollten {232}.

Ein wesentlicher Schritt zur Kontrolle der automobilbezogenen Emissionen erfolgte im Jahre 1959, als die kalifornische Gesetzgebung das "Bureau of Air Sanitation" des "State Board of Public Health" im "California Department of Public Health" anwies, bis zum 01.02.1960 höchstzulässige Grenzwerte für die Schadstoffemissionen aus Kraftfahrzeugen festzulegen. Die erarbeiteten Standards wurden am 04.12.1959 vom "State Board of Public Health" angenommen {188}. Gleichzeitig mußten Luftqualitätsstandards bestimmt werden. Bei der Festsetzung dieser Luftqualitätsstandards hatte man versucht zu ermitteln, welchen Einfluß verschiedene Verunreinigungen bei verschiedenen Konzentrationen auf das menschliche Wohlbefinden und auf die menschliche Gesundheit (sowie auf Tiere, Pflanzen und Sichtverhältnisse) haben {233}. Die so entstandenen Luftqualitätsstandards wurden zusammen mit Daten über das Emissionsverhalten der vorhandenen Fahrzeuge zur Basis für die Kraftfahrzeug-Emissionsgrenzwerte.

Kalifornien erfüllte damit die in späteren Jahren immer wieder vorgetragene Forderung, daß Emissionsgrenzwerte für Pkw auf Untersuchungen über mögliche gesundheitsschädigende Auswirkungen beruhen sollten. Man war sich bei der Festsetzung der entsprechenden Grenzwerte, deren Herleitung in Kap. 6 detailliert beschrieben ist, jedoch klar darüber, daß erheblich widersprüchliche Daten zugrunde gelegt werden mußten, da zu diesem Zeitpunkt (1959/1960) kaum geeignete Mittel zur Verfügung standen,

um mittlere Werte der luftverunreinigenden Emissionen aus Kraftfahrzeugen zu erfassen {234}.

### 3.1.3 Das "California Motor Vehicle Pollution Control Board" (CMVPCB)

Im April 1960 schuf die Kalifornische Gesetzgebung das staatliche "Motor Vehicle Pollution Control Board", das aus 13 Mitgliedern bestand. Dieses Gremium wurde autorisiert, ein Verfahren zur Zertifikation von Emissionskontrollsystemen zu entwickeln, die per Gesetz zum Einsatz gelangen sollten {232}.

Ein gesetzlicher Zwang zum Einbau von Emissionskontrollsystemen sollte jedoch erst dann möglich sein, wenn das CMVPCB (z. B. bei der Kontrolle der Kurbelgehäuse "Blowby" Gase) mindestens zwei verschiedene Verfahren zertifiziert hatte {232}.

### 3.1.4 Der "Mullford-Carell Air Resources Act" von 1967 und die Gründung des "California Air Resources Board" (CARB)

Innerhalb der "Resources Agency" wurde 1968 aufgrund von Abschnitt 1545 der Statuten von 1967 (section 39020 et seq. des kalifornischen "Health and Safety Code"), bekannt als der "Mullford-Carell Air Resources Act", das kalifornische "Air Resources Board" (ARB), gegründet. Dieses Gesetz verband die Aufgaben des früheren CMVPCB, des staatlichen "Vehicular Pollution Laboratory" und des "Bureau of Air Sanitation" des "Department of Public Health". Die neu geschaffene Behörde (ARB) war das ausführende Amt mit Verantwortung für die Kontrolle der Emissionen aus Motorfahrzeugen, die Festlegung von Luftqualitätsstandards und die Koordination der Arbeiten lokaler Ämter zur Kontrolle von Emissionen aus anderen Quellen. Das ARB ist aus Sicht ihres Bundes-Pendants, der US-EPA, das einzige für die Kontrolle der Luftverunreinigungen in Kalifornien verantwortliche Amt {235}.

Gemäß dem "Mullford-Carell Air Resources Act" von 1967 mußte das ARB einen jährlichen Bericht über seine Arbeiten an den Gouverneur und die Gesetzgebung Kaliforniens einreichen {236}. Diese Berichte spiegeln die seit Gründung dieses Amtes durchgeführten Aktivitäten wider und dienten auch diesem Abschnitt als Unterlage zur Zieldefinition der kalifornischen Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw.

### 3.1.5 Der "Pure Air Act" von 1968

Zu den wichtigsten Gesetzesvorschlägen, die Governor Reagan 1968 verabschiedete und zum Gesetz machte, gehören die Vorschriften von AB 357, dem "Pure Air Act von 1968". Dieses Gesetz bildete zusammen mit "Assembly Bill" (AB) 356 und "Assembly Concurrent Resolution" (ACR) 111 ein Vorschriftenpaket, das aus umfangreichen Hearings des "Assembly Committee on Transportation and Commerce" entstanden war {237}.

Der "Pure Air Act" von 1968 legte Emissionsgrenzwerte (in Gramm/Meile = g/m) für Kraftfahrzeuge fest, die ab Modelljahr 1970 zu erfüllen waren (2.2 g HC/m, 23 g CO/m). Gleichzeitig wurde die weitere HC-Verschärfung für Modelljahr 1972 auf 1,5 g HC/m festgeschrieben und erstmals ein  $\text{NO}_x$ -Grenzwert ab Modelljahr 1971 erlassen (4.0 g  $\text{NO}_x$ /m). Dieser Wert sollte ab Modelljahr 1972 auf 3.0 g  $\text{NO}_x$ /m und ab

Modelljahr 1974 auf 1.3 g NO<sub>x</sub>/m verschärft werden {237}.

Anstelle des "averaging"-Prinzips (d. h. der Betrachtung des Mittelwertes der Emissionen einer Fahrzeugflotte) verlangt der "Pure Air Act" von 1968, daß jedes einzelne Fahrzeug die obengenannten Grenzwerte erfüllt {237}.

### 3.2 Bundesbehörden und Bundesgesetzgebung

Nachdem die zuvor zitierten gesetzgeberischen Arbeiten die "historische Priorität" des Staates Kalifornien auf dem Gebiet der Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen genügend verdeutlichen, seien nun die entsprechenden Arbeiten der Bundesbehörden betrachtet. Die vom Bund erlassenen Gesetze beziehen sich grundsätzlich auf alle 50 Staaten der USA, dem Staat Kalifornien wurden jedoch speziell bei der Grenzwertfestlegung für Schadstoffemissionen aus Pkw stets Ausnahmen von dieser Bundesgesetzgebung eingeräumt (so daß bei den in Teil III dieser Arbeit behandelten industrieseitigen Bemühungen zur Erfüllung der relevanten Gesetzgebungen von einer Zweiteilung in Kalifornien- und 49-Staaten-Gesetzgebung gesprochen wird).

#### 3.2.1 Ursprung der Luftqualitätsgesetzgebung des Bundes: Der Donora-Zwischenfall von 1948

Als auslösendes Moment der ersten Gesetze zur Kontrolle von Luftverunreinigungen durch die Bundesbehörden kann der Donora-Zwischenfall vom Oktober 1948 angesehen werden {238}.

In diesem 14.000 Einwohner großen Ort in Pennsylvania führte eine 5tägige Inversionswetterlage, beginnend am 02.10.1948, zum Stau von Industriegasen und Rauch im Tal des Monongahela Flusses. Am Ende dieses Zeitraumes waren 5.910 Personen erkrankt und einige Todesfälle zu beklagen {238}.

Nach diesem Ereignis wurden vom Gesundheitsministerium Untersuchungen durchgeführt und die Notwendigkeit einer Gesetzgebung betont, die Mittel und Wege bereitstellt, um gleichartige Probleme auf nationaler Ebene behandeln zu können {238}.

#### 3.2.2 Der "Public Health Service Act" und der "Air Pollution Control Act" von 1955

Der Auftrag für das "Department of Health, Education and Welfare" (DHEW), sich mit Fragen der Luftverunreinigungen und der Luftqualität zu befassen, basiert auf dem "Public Health Service Act" (P.L. - "Public Law" - 78-410) vom 01.07.1944 und dem "Air Pollution Control and Technical Assistance Act", kurz "Air Pollution Control Act" genannt (P.L. 84-159), der am 14. Juli 1955 von Präsident Eisenhower unterzeichnet wurde {239}.

Der "Public Health Service Act" sorgte für eine umfassende rechtliche Basis zur Durchführung und Unterstützung von Forschungsprogrammen bezüglich Gesundheitsaspekten {239}. Der "Air Pollution Control Act" schuf eine ähnliche, aber mehr auf Luftverunreinigungen spezifizierte Basis und autorisierte den "Public Health Service" des DHEW in Zusammenarbeit mit anderen öffentlichen und privaten Stellen sowie mit der Industrie, Forschungsprogramme über Methoden zur Kontrolle der Luftverunreini-

gungen zu empfehlen. Auf Wunsch von staatlichen und lokalen Stellen konnte der Gesundheitsminister Untersuchungen über Luftverunreinigungen einleiten, Forschungs- oder Schulungsprogramme konnten im Vertrags-Verfahren mit staatlichen, lokalen und privaten Stellen oder Privatpersonen durchgeführt werden {239}.

Das Gesetz ging noch davon aus, daß die primären Verantwortungen und Rechte bezüglich der Kontrolle von Luftverunreinigungen bei den Einzelstaaten oder lokalen Behörden lagen. So betonte das "House Committee":

"The bill does not propose any exercise of police power by the Federal Government, and no provision in it invades the sovereignty of states, counties or cities. There is no attempt to impose standards of purity" {240}.

Zwischen 1955 und 1963 wurden große Anstrengungen unternommen, um wissenschaftliche Erkenntnisse über die Art und Größenordnung der nationalen Luftqualitätssituation zu sammeln, die möglichen Auswirkungen der vorhandenen Luftverunreinigungen auf die Gesundheit der Bürger zu erforschen und festzustellen, welche Arten der Emissionskontrolle vorhanden und wo bessere Technologien erforderlich waren {241}.

Das obengenannte 1955er Gesetz wurde 1959 erweitert (P.L. 86-365), indem ausführliche Anweisungen an andere Stellen des Bundes ergingen, mit dem DHEW, mit staatlichen, interstaatlichen und örtlichen Luftverunreinigungs-Kontrollstellen bezüglich der Schadstoffemission von Bundes-Anlagen zu kooperieren {242}.

Obwohl in dem im Jahre 1959 durch den "Public Health Service" des DHEW geschaffene Autoabgas-Testlabor im "Robert A. Taft Sanitary Engineering Center" in Cincinnati (das als das derzeit bestausgerüstetste Labor in den USA galt) schon begonnen hatten {243}, erfolgte spezielle Betonung der Abgasemissionen aus Automotoren jedoch erst im Zeitraum nach 1960, da die vor diesem Zeitraum vorhandenen großen technischen Probleme nur geringe Anstrengungen auslösten, Daten zu erhalten, die z. B. Aufschluß über die durch ein mittleres Fahrzeug emittierten Schadstoffmengen ergaben {244}.

### 3.2.3 Der "Schenck-Act" von 1960 ("Motor Vehicle Exhaust Act")

Die Forschungsbemühungen konzentrierten sich schließlich direkt auf das Automobil und führten am 8. Juni 1960 zur Verabschiedung des "Schenck-Act" (P.L. 86-493). Durch dieses, auch "Motor Vehicle Exhaust Act" genannte Gesetz, erhielt der "Surgeon General" den Auftrag, eine Studie anzufertigen und an den Kongreß einzureichen, die vom Standpunkt der öffentlichen Gesundheit über die Emission von Stoffen in die Atmosphäre durch das Abgas von Automobilen berichtet. Er sollte darüber hinaus Art und Menge derjenigen Stoffe festlegen, die hinsichtlich der menschlichen Gesundheit unter den auftretenden Fahrzeugeinsatzbedingungen gefahrlos emittiert werden können. Spätestens zwei Jahre nach Verabschiedung des "Schenck-Act" sollte der Bericht mit Empfehlungen über die zum Schutz der menschlichen Gesundheit erforderlichen Maßnahmen abgegeben werden {245}.

Mit der Bewältigung dieser "1960er-Fahrzeugstudie" beauftragte der "Surgeon Gene-



ral" die "Division of Air Pollution" des "Public Health Service" des DHEW und konnte den fertigen Bericht {243} im Juni 1962 an den Kongreß einreichen. Durch diesen Auftrag wurden nicht nur die Forschungsaktivitäten der obengenannten "Division" beschleunigt, sondern auch die Programme der über Verträge eingeschalteten Universitäten intensiviert. Unterstützend arbeiteten an diesem 2-Jahres-Programm auch Automobil- und Mineralölindustrie mit.

Im Jahre 1962 erfuhr der "Air Pollution Control Act" von 1955 noch eine weitere Ergänzung durch das P.L. 87-761, um die Auflage, daß der "Surgeon General" Studien über Autoabgase anzufertigen habe, zu einer Dauerforderung zu machen {239}.

#### 3.2.4 Der "Clean Air Act" von 1963

Am 17.12.1963 unterzeichnete Präsident Johnson den "Clean Air Act" (P.L. 88-206), der die gesamte vorangegangene Bundesgesetzgebung auf dem Gebiet der Luftqualität ersetzte und das Grundwerk für den Beginn eines umfassenden nationalen Programms zur Verhinderung und Kontrolle von Luftverunreinigungen sowie die Basis aller nachfolgenden relevanten Gesetze bildete {246}.

Durch die Forderung nach Schaffung eines technischen Komitees, in dem Vertreter von Regierung, Auto-, Zubehör- und Mineralölindustrie mitarbeiteten, und das sich mit der Luftverunreinigung durch Emissionen aus Automobilen beschäftigte, sollte der Fortschritt hinsichtlich effektiver Emissionskontrolle überwacht und bestimmte Bereiche, in denen zusätzlich Forschungs- und Entwicklungsaufwand erforderlich waren, aufgezeigt werden {239}. Der Sekretär des DHEW mußte dem Kongreß periodisch über das Luftverunreinigungsproblem durch Automobile berichten und erforderliche Gesetzesänderungen vorschlagen.

Somit hatte der Kongreß den Prozeß einer künftig nahezu ununterbrochenen Überprüfung des durch Emissionen von Kraftfahrzeugen entstandenen Umweltproblems eingeleitet {239, 247}.

Der "Clean Air Act" von 1963 erklärte zwar weiterhin, daß die Verhinderung und Kontrolle von Luftverunreinigungen die Hauptverantwortung einzelstaatlicher und örtlicher Regierungen darstellt {248}, versetzte diese Stellen jedoch in die Lage, gemeinsam mit der Bundesregierung an einem intensiveren Programm zur Bekämpfung der vorhandenen Luftverunreinigungen teilzunehmen. Das Gesetz verlangte ein erweitertes Bundesforschungs- und Entwicklungsprogramm und legte die entsprechenden Schwerpunkte auf die wichtigsten nationalen Luftverunreinigungen:

- Schwefeldioxide aus der Verbrennung von Kohle und Heizöl
- Emissionen aus Kraftfahrzeugen

Zum ersten Problemkreis sah es ein Forschungsprogramm zur Entwicklung einer kostengünstigen Kraftstoffentschwefelung vor {249}, bezüglich des zweiten Themas wurde die Automobil- und Mineralölindustrie ermutigt, durch technische Verbindungskomitees mit dem DHEW, Teile und Kraftstoffe zu entwickeln, die den Schadstoffausstoß im Abgas

senken könnten {250}. Weiterhin sollte der Sekretär des DHEW - zur Information - Kriterien, die den letzten Stand wissenschaftlicher Erkenntnisse über die Wirkung von Luftverunreinigungen widerspiegeln, sammeln und veröffentlichen {251}.

Der "Clean Air Act" von 1963 enthielt jedoch noch nicht die als "Title II"-Bestimmungen bekannten direkten Anweisungen über die Handhabung von Automobilen und ihren Emissionen.

### 3.2.5 Der "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" von 1965

In den Jahren 1963 bis 1967 folgte eine enorme Erweiterung von einzelstaatlichen und lokalen Versuchsprogrammen {252}, und als klar wurde, daß eine landesweite Kontrolle der durch Motorfahrzeuge verursachten Luftverunreinigungen technisch realisierbar war {253}, wurde eine fundamentale Ergänzung des "Clean Air Act" von 1963 vorgenommen: Der bekannte "Title II: Control of Air Pollution from Motor Vehicles" wurde unter dem Kurznamen "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" (P.L. 89-272) am 20.10.1965 dem 1963er Basiswerk beigelegt {254}.

Diese Ergänzungen ermöglichten es dem Sekretär des DHEW, Emissionsgrenzwerte für die Motoren von neuen Kraftfahrzeugen ab Modelljahr 1968 zu erlassen. Außerdem wurde erstmals vor Erteilung einer Verkaufszulassung die Durchführung von Emissionstests an Prototypen gefordert. Forschungsprogramme über die Kontrolle der Verdampfungsemission von Kohlenwasserstoffen aus Vergaser und Kraftstofftank sowie für Stickoxide und Aldehyde aus Otto- und Diesel-Motoren wurden genehmigt und der Sekretär des DHEW beauftragt, die Entwicklung von kostengünstigen Verfahren zur Verringerung der  $SO_x$ -Emissionen durch Kraftstoffverbrennung aufzugreifen {255}.

Um eine kontinuierliche Verfolgung der im Rahmen dieser Arbeit interessierenden gesetzlichen Veränderungen bezüglich Emissionskontrolle an Pkw zu ermöglichen, seien die in obengenanntem Gesetz erstmals auftauchenden relevanten Paragraphen ("Section" 202, 203, 205 und 206) kurz umrissen. Der Endzustand dieser Vorschriften findet sich dann in Kap. 3.2.13 (Der heutige "Clean Air Act").

In *Sec. 202* wurde dem Sekretär des DHEW zunächst auferlegt, so bald wie möglich Grenzwerte für solche Schadstoffe im Automobilabgas zu erlassen, die seiner Meinung nach gesundheitsgefährdende Luftverunreinigungen darstellen, mit der Bedingung verknüpft, daß er hierbei "technologische Realisierbarkeit" und "wirtschaftliche Kosten" angemessen berücksichtigen mußte. Die entsprechenden Vorschriften sollten gemäß *Sec. 202 (b)* jedoch erst zu einem Datum Gesetzeskraft erlangen, das der Sekretär nach Berücksichtigung der von der Industrie vernünftigerweise zur Erfüllung benötigten Zeit (!) festzulegen haben würde {256, 257}.

Für den Automobilhersteller wurde in *Sec. 203 (a)(1)* das Verbot einer Auslieferung (oder Einfuhr in die USA) von Fahrzeugen, die nicht durch ein gültiges Zertifikat gedeckt sind, erlassen. Ebenso wurde in *Sec. 203 (a)(2)* das Versagen von Einsichtnahme in (Zertifikations-)Dokumente oder das Ablehnen des Kopierens von diesen Dokumenten durch die Behörde zu Kontrollzwecken sowie in *Sec. 203 (a)(3)* das willent-

liche Außerbetriebsetzen von Emissionskontrollteilen vor Verkauf des Fahrzeugs durch beliebige Personen verboten. Für Verstöße gegen die Forderungen der letztgenannten Sec. 203 waren in Sec. 205 Strafen bis zu einer Höhe von maximal 1.000 \$ vorgesehen {258 bis 261}.

Die "Zertifizierungs"-Vorschriften verlangten in Sec. 206 einerseits, daß der Sekretär des DHEW Tests und Zertifizierungsverfahren an zum Verkauf vorgesehenen Pkw durchzuführen habe, sie sahen jedoch Produktionsfahrzeuge auch ohne Tests als den Vorschriften entsprechend an, solange diese nur in allen technischen Details gleich aufgebaut waren wie die Zertifizierungswagen {262}.

### 3.2.6 Die "Clean Air Act Amendments" von 1966

Die Kosten der ständig erweiterten Forschungen, Studien und Versuche waren enorm angewachsen, und daher wurde durch die "Clean Air Act Amendments" von 1966 (P.L. 89-675) eine finanzielle Beteiligung des Bundes an Luftreinhaltungsprogrammen verschiedener Stellen vorgesehen.

So konnten z. B. für die Entwicklung, das Festsetzen oder die Verbesserung von einzelstaatlichen oder lokalen Programmen bis zu 2/3 der Kosten sowie für den Betrieb und/oder das Erhalten dieser Programme bis zu 50 % der Kosten durch den Bund an die jeweilige Umweltschutzbehörde gezahlt werden {263}.

### 3.2.7 Der "Air Quality Act" von 1967 und die Gründung des "National Center of Air Pollution Control"

Gemäß dem "Clean Air Act" von 1963 mußte der Leiter des DHEW halbjährliche Berichte an den Kongreß einreichen, die die laufenden Bemühungen zur Beherrschung des Luftverschmutzungsproblems durch Emissionen aus Kraftfahrzeugen beschrieben. Die Berichtsreihe, betitelt "Automotive Air Pollution", faßte die Anstrengungen 4jähriger Arbeit zusammen und endet mit dem letzten Bericht im August 1967 {264}.

Während der obengenannten intensivierten Arbeiten an der Erforschung der vorhandenen Emissionen und der Bestimmung ihrer Auswirkungen und Gefahren für die menschliche Gesundheit verschlimmerte sich die Luftverschmutzung besonders in den großen US-Städten stetig {265} und führte schließlich zur Verabschiedung des "Air Quality Act" vom 21.11.1967 (P.L. 90-148) {252}. Das gesamte Konzept des Umweltschutzes wurde erweitert, und erstmals nannte das Gesetz als Ziel eine Steigerung der Luftreserven des Landes zur Verbesserung der öffentlichen Gesundheit und Produktivitätssteigerung der Bevölkerung {266}.

Die 1963er Formulierung, daß der Sekretär des DHEW Luftqualitätskriterien zu rein informativen Zwecken sammeln und veröffentlichen sollte, wurde ersetzt durch einen Passus, der vorsah, daß der Sekretär den Einzelstaaten solche Kriterien mitteilen solle, die er zum Schutz und zur Erhaltung der öffentlichen Gesundheit für erforderlich hielt {267}. Gleichzeitig sollte er Informationen über empfohlene Kontrolltechniken und die zum Erreichen des angestrebten Luftqualitätsstandards erforderlichen Kosten bekanntgeben {268}.

Das Gesetz forderte auch eine koordinierte Inangriffnahme des Luftverunreinigungsproblems auf regionaler Basis, und das DHEW sollte Luftqualitätsgebiete aufgrund von meteorologischen, technischen, sozialen und politischen Faktoren bestimmen und großräumige atmosphärische Bereiche des Landes festlegen {269}. Die Führungsverantwortung bei dem Bemühen zur Luftqualitätsverbesserung oblag dem DHEW, das zur Durchführbarkeit dieses Auftrags im Januar 1967 das "National Center of Air Pollution Control" gründete (der Bereich war früher bekannt als "Division of Air Pollution" des "Public Health Service"). Das "National Center" bestimmte die zuvor genannten Luftqualitätszonen sowie die atmosphärischen Großregionen des Landes {270}.

Unter Zugrundelegung der vom DHEW bekanntzugebenden nationalen Luftqualitätsstandards und Kontrolltechnologien sollten die Einzelstaaten nach Abhalten von "Hearings" Luftqualitätsstandards für ihre Region annehmen und einen Ausführungsplan zum Erreichen dieser Standards verabschieden. Standards und Ausführungsplan unterlagen wiederum der Genehmigung des DHEW {271}.

Die im 1963er Act vorgesehenen technischen Verbindungskomitees ("Technical Advisory Committees") wurden ersetzt durch ein "Air Quality Advisory Board", das aus dem Sekretär und 15 öffentlichen Mitgliedern bestand, die vom Präsidenten bestimmt wurden. Das Gremium beriet den Leiter des DHEW und machte dem US-Präsidenten Empfehlungen in Sachen Luftreinhaltung {272}. Der Leiter des DHEW wurde beauftragt, ausführliche Wirtschaftlichkeitsstudien über die Kosten zur Durchsetzung der gesetzlichen Vorschriften des obengenannten Gesetzes anzufertigen und dem US-Kongreß jährlich über die Fortschritte auf dem Gebiet der Luftreinhaltung zu berichten, was ab 10.01.1969 erfolgte {273}.

Der die Emissionen aus Automobilen betreffende "Title II" (am 20.10.1965 als "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" dem "Clean Air Act" vom 17.12.1963 hinzugefügt) wurde mit dem "Air Quality Act" vom 21.11.1967 umbenannt in "National Emission Standards Act" {274}. Die in Kap. 3.2.5 genannten "Sections" 202 bis 206 wurden unverändert beibehalten, die folgenden Auflagen kamen neu hinzu:

Es wurde vorgeschrieben, daß kein Einzelstaat eigene Standards erlassen oder individuelle Zulassungsverfahren als Vorbedingung zur Verkaufsgenehmigung machen darf (Ausnahme: Kalifornien). Nach Registrierung der Fahrzeuge standen den Einzelstaaten jedoch alle Möglichkeiten offen, emissionsbezogene Bedingungen an die Betriebszulassung zu knüpfen (z. B. "in-use standards", d. h. Förderung an das Emissionsverhalten der Fahrzeuge im Feldeinsatz) {275}. Darüber hinaus wurde eine maximale 2/3 Beteiligung der Bundesbehörde an den Kosten vorgesehen, die Einzelstaaten bei der Entwicklung von Inspektions- und Testsystemen zur Überwachung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen entstehen {276}.

Schließlich wurde noch gefordert, daß alle Kraftstoffadditive und der Grund ihrer Verwendung registriert werden müssen {277}.

### 3.2.8 Der "National Environmental Policy Act" (NEPA) von 1969

Dieses Gesetz (P.L. 91-190) führte zur Gründung des "Council on Environmental Quality" und forderte, daß jede Empfehlung oder jeder Bericht über Gesetzesvorschläge, die deutlich die menschliche Umwelt betreffen, eine detaillierte Aussage über die Auswirkungen des Vorschlages auf diese Umwelt beinhalten muß. Der "Council" sollte jährliche "Environmental Quality Reports" an den Präsidenten zur Weitergabe an den Kongreß einreichen {278}.

### 3.2.9 Der "Environmental Quality Improvement Act" von 1970

Dieses Gesetz (P.L. 91-224) erklärte eine nationale Politik zur Verbesserung der Umweltqualität, wobei die Hauptverantwortung zur Durchführung dieser Politik bei den Einzelstaaten und lokalen Behörden lag. Weiterhin wurde eine "Office of Environmental Quality" in der "Executive Office" des Präsidenten vorgesehen. Der Vorsitzende des Rates über Umweltqualität ("Council on Environmental Quality") fungierte als Direktor dieser Behörde, deren Funktion es war, dem Rat Fachleute und Verwaltungspersonal zur Verfügung zu stellen {278}.

### 3.2.10 Die "Clean Air Amendments" von 1970

Die mit dem 1965er "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" (d. h. "Title II" des "Clean Air Act") eingeleiteten Arbeiten hatten bis zum Jahre 1969 nicht die vom Kongreß beabsichtigten Wirkungen gezeigt. Es gab wenig Fortschritte, den konventionellen Motor "sauberer" zu machen, Alternativantriebe waren nicht in Aussicht und die Zertifizierungswerte wurden im praktischen Fahrbetrieb überschritten {279 bis 281}.

Nach Verabschiedung des "Air Quality Act" von 1967 hielt das "Subcommittee on Air and Water Pollution" in den Jahren 1968 und 1969 sogenannte "Oversight-Hearings" über die Fortschritte und Probleme im Zusammenhang mit der Kontrolle von Luftverunreinigungen ab. Man behandelte interstaatliche Probleme, "Air Quality"-Kriterien, "Field-Hearings" über Luftverunreinigungsprobleme und Alternativen zum konventionellen Otto-Motor {282}.

Am 10.12.1969 brachte Senator Muskie "Senate-Bill" S 3229, den sogenannten "Air Quality Improvement Act" und Senator Scott am 18.02.1970 die "Clean Air Amendments" von 1970 ein. Mit S 3546 ergänzte Senator Muskie am 04.03.1970 die Aktivitäten durch den "National Air Quality Standards Act" {283}. Anschließend folgten weitere Hearings. In diesen Hearings im März 1970 wurde das Ausmaß der Umweltbelastung durch Emissionen aus Automobilen in den US-Hauptstädten sowie die Auswirkungen für die öffentliche Gesundheit durch Aussagen des "Public Health Service" und anderer Zeugen vor dem "Subcommittee on Air and Water Pollution" klar {279}. Die Erkenntnisse führten schließlich zu den "Clean Air Amendments" vom 31.12.1970 (P.L. 91-604) {284}.

Damit erfolgte eine Verlagerung eines Großteils einzelstaatlicher Verantwortung an den Bund. Unter diesen Ergänzungen des "Clean Air Act" wurde am 02.12.1970 die "Environmental Protection Agency" (EPA) gegründet, um die hauptsächlichsten umweltbezoge-

nen Aktivitäten des Landwirtschaftsministers, des Ministers für Gesundheit, Erziehung und Wohlfahrt (DHEW), des Innenministers, der Atomenergiekommission und des "Federal Radiation Council" zu verwalten {278}.

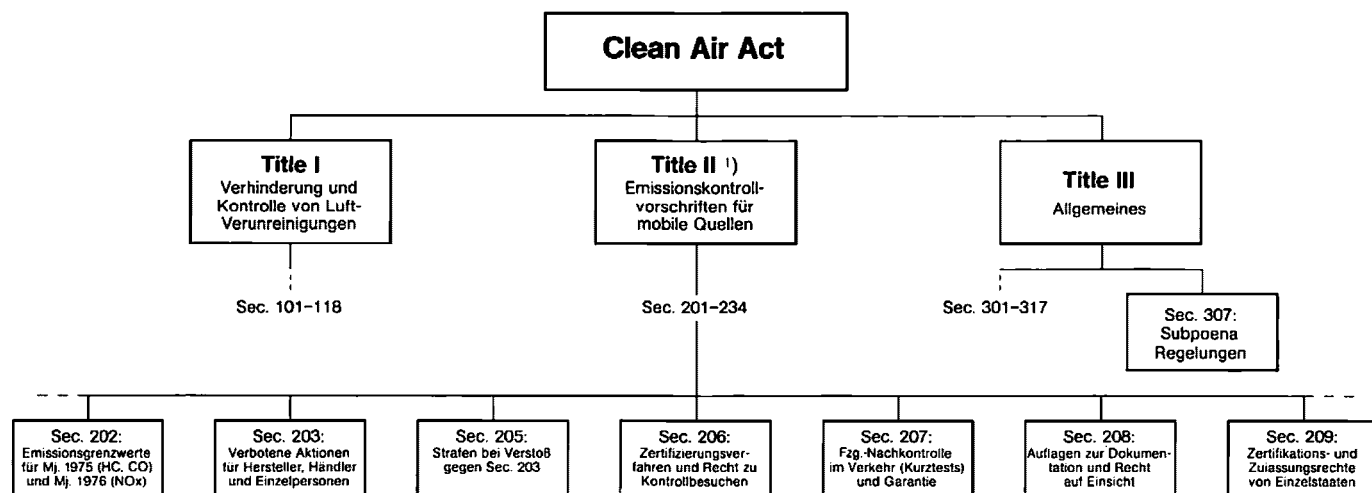
Im gesamten "Clean Air Act" wurden Änderungen durchgeführt, die alle obengenannten Verantwortungen an den "Administrator" der EPA übertrugen. Auf dem Gebiet der Forschung sind folgende Neuerungen von Bedeutung:

- Es wird spezielle Bedeutung auf Kurz- und Langzeitwirkung von Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit gelegt {285}.
- Forschungen sollen durchgeführt werden, um die Effektivität der Kraftstoffverbrennung zu erhöhen und um Möglichkeiten zur Produktion synthetischer oder neuer Kraftstoffe zu untersuchen, deren Einsatz die in die Atmosphäre gelangenden Schadstoff-Emissionen verringern würde {286}.
- Die Entwicklung von Fahrzeugen mit schadstoffarmen Antrieben ("Low Emission Vehicles") wird angeregt und es werden Budgets bereitgestellt, damit Bundesbehörden solche Fahrzeuge für ihren Fuhrpark kaufen können. Als "Low Emission Vehicles" werden Fahrzeuge betrachtet, die wesentlich geringere Schadstoffwerte im Abgas aufweisen als durch die gültigen Grenzwerte gefordert werden {287}.

Das Gesetz verlangte außerdem vom "Administrator" die Festlegung "primärer" und "sekundärer" Luftqualitätsstandards {288}. Primäre Standards sind Grenzwerte für die Umgebungsluft, die auf den bekannten Kriterien (plus einem gewissen Sicherheitsabstand) beruhen und die zur Erhaltung der öffentlichen Gesundheit erforderlich sind. Sekundäre Standards stellen Niveaus dar, die erforderlich sind, um das öffentliche Wohlergehen vor jeder bekannten oder angenommenen nachteiligen Beeinflussung durch die Anwesenheit von Verunreinigungen in der Umgebungsluft zu schützen (Öffentliches Wohlergehen = Einflüsse auf Boden, Wasser, Pflanzen, Materialien, Tiere, Wetter, Sicht, Klima, persönlicher Komfort, etc.).

Für die mobile Emissionsquelle Pkw finden sich die relevanten (zum Teil neuen) Vorschriften in "Title II" und "Title III" des somit abermals erweiterten "Clean Air Act", dessen Aufbau zu diesem Zeitpunkt in Bild II.3-1 wiedergegeben ist.

Die wichtigsten Ergänzungen der bisherigen Vorschriften von "Title II" sowie ein



**Bild II.3-1:** Aufbau des Clean Air Act (nach den „Clean Air Amendments“ von 1970) mit den für einen Automobilhersteller wichtigsten Vorschriften aus Title II (<sup>1)</sup> auch „National Emission Standards Act“ genannt) und Title III, nach [289].

Section	Thema	Details
202	Festlegung von Emissions-Grenzwerten	Der Administrator sollte Grenzwerte für die aus Fahrzeugen und Fahrzeugmotoren stammenden Luftverunreinigungen erlassen und diese von Zeit zu Zeit revidieren. Die Grenzwerte sind während der gesamten nutzbaren Lebensdauer („useful life“), d. h. 5 Jahre oder 50 000 Meilen – je nachdem, was eher eintritt – einzuhalten. Die Vorschriften von Sec. 202 sollen nach einem Zeitraum in Kraft treten, den der Administrator für erforderlich hält, um die notwendigen Technologien zu entwickeln, wobei Kostenbetrachtungen zu berücksichtigen sind. Die Schadstoffe HC und CO sollen ab Modelljahr 1975 um 90% gegenüber den für Modelljahr 1970 zugelassenen Emissionsgrenzwerten abgesenkt werden. NO <sub>x</sub> soll ab Modelljahr 1976 um 90% gegenüber dem an Fahrzeugen des Modelljahrs 1971 (die noch keine NO <sub>x</sub> -Kontrollmaßnahmen besaßen) vom Administrator real gemessenen mittleren NO <sub>x</sub> -Niveau abgesenkt werden. Der Administrator sollte ab 1. 7. 1971 dem Kongreß jährlich über den Stand der Entwicklung von Systemen berichten, die diese Emissionsverbesserungen erreichen sollten. Die für die Berichte nötigen Informationen konnte sich der Administrator in Hearings beschaffen, wobei er die in „Title III“, Sec. 307 des „Clean Air Act“ verankerten „subpoena“-Vorschriften (= Aufforderung zum Erscheinen unter gleichzeitiger Strafandrohung bei Nichterscheinen) anwenden sollte. Jederzeit nach dem 1. Januar 1972 konnte ein Automobilhersteller einen Antrag auf Aufschub der HC- und CO-Grenzwerte und jederzeit nach dem 1. Januar 1973 einen Antrag auf Aufschub des NO <sub>x</sub> -Standards (max. um 1 Jahr) einreichen. Im Falle der Genehmigung solcher Anträge mußte der Administrator sofort Interims-Grenzwerte festlegen, die das Höchstmaß der mit den derzeit vorhandenen Technologien erreichbaren Emissionskontrolle darstellen sollten. Es waren bei der Entscheidung über die „vorhandenen Technologien“ die Kosten zu berücksichtigen, die dem Hersteller durch Anwendung der relevanten Verfahren in der zur Verfügung stehenden Zeit entstehen würden. Aufschubmöglichkeiten obiger „Statutory Standards“ sah das Gesetz nur vor, wenn a) dieser Aufschub im öffentlichen Interesse oder von Bedeutung für die öffentliche Gesundheit war, b) alle max. möglichen Anstrengungen zum Erreichen der Grenzwerte seitens des Herstellers unternommen worden waren und nachgewiesen werden konnten („good faith efforts“), c) der Antragsteller nachweisen konnte, daß wirksame Kontrolltechnologien, Verfahren, Betriebsmethoden oder andere Alternativen nicht vorhanden waren oder zumindest nicht für einen ausreichenden Zeitraum zur Verfügung standen, um ein rechtzeitiges Erreichen der Vorschriften zu ermöglichen und d) die Studien und Untersuchungen der NAS („National Academy of Sciences“) sowie andere verfügbare Informationen nicht anzeigen, daß solche Technologien, Verfahren oder Alternativen zum Erreichen dieser Grenzwerte vorhanden sind. Der Administrator sollte Vereinbarungen mit der NAS treffen, die halbjährlich (ab 1. 7. 1971) Berichte über die technologisch vorhandenen Möglichkeiten, die Grenzwerte zu erreichen, erstellen sollte („technological feasibility“).
203	Verbotene Handlungen („Tampering“)	Sec. 203 enthält außer dem Verbot der Einfuhr und des Verkaufs von nicht zertifizierten Fahrzeugen die „Anti-Tampering“-Vorschriften. Diese verbieten, daß a) es vor dem Verkauf eines Fahrzeugs und dessen Übergabe an den Kunden jeder Person verboten ist, irgendein Teil der Emissionskontrollanlage auszubauen oder außer Funktion zu setzen, und b) daß es nach dem Verkauf eines Fahrzeugs und dessen Übergabe an den Kunden Herstellern und Händlern verboten ist, wissentlich derartige Maßnahmen zu ergreifen.
205	Strafen	Sec. 205 definiert die Strafzahlungen bei Verstößen gegen unerlaubte Handlungen bei Herstellung, Zulassung, Verkauf und Betrieb von Automobilen. Gegenüber den bisher festgesetzten max. 1000 \$ Strafe pro Handlung wurde das mögliche Strafmaß auf max. 10 000 \$ erhöht.
206	Zertifizierung   Recht zu Kontroll-Besuchen  Zertifikations- und Serienfahrzeuge	Sec. 206 behandelt die Grundlagen des Zertifizierungsverfahrens. Die an Zulassungsfahrzeugen ermittelten Emissionstestergebnisse müssen der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden und zwar in so leicht verständlicher Art, daß Vergleichsmöglichkeiten zwischen den verschiedenen Fabrikaten gegeben sind. Sowohl der Hersteller wie auch der Administrator dürfen Zertifizierungstests durchführen, wobei ein Zertifikat ausgesetzt oder zurückgerufen wird, wenn anhand einiger zertifizierter Neufahrzeuge festgestellt wird, daß die Wagen zeitweise oder insgesamt den Vorschriften nicht entsprechen. Auf Wunsch des Automobilherstellers kann der Administrator ein Hearing gewähren, in dem diskutiert wird, ob der Hersteller die Emissionstests ordnungsgemäß durchgeführt und Analysemethoden fachgerecht angewendet hat. Während dieses Hearings bleibt der Zertifikatsrückruf jedoch gültig. Entsteht während der Diskussion über die Gültigkeit der in dem Hearing präsentierten Daten ein Streitfall, kann der Hersteller innerhalb 60 Tagen den „US Court of Appeals“ anrufen. Als Daten der Gegenpartei werden die Unterlagen hinzugezogen, auf denen der vom Administrator ausgesprochene Zertifikatsstopp beruht. Wenn begründete Annahme besteht, daß der Kläger neues Material zur Klärung des Streitfalles beibringen kann, wird derartige Material hinzugezogen und die Entscheidung des Administrators neu diskutiert.  Damit eine klare Entscheidungsfindung der EPA über die Gesetzeskonformität der Herstelleraktivitäten möglich ist, sieht Sec. 206 (c) den gravierenden Passus „right of entry“ vor. Danach sind – um die Vorschriften von Sec. 206 durchsetzen zu können – Beamte oder Angestellte der EPA, die vom Administrator ordnungsgemäß bestimmt wurden, autorisiert a) zu angemessenen Zeiten jede Anlage oder sonstige Einrichtung des Herstellers zu betreten, um Tests von in Herstellerhand befindlichen Motoren oder Fahrzeugen durchzuführen oder b) zu angemessenen Zeiten Berichte, Ablagen, Papiere, Vorgänge, Überprüfungen und Anlagen, die vom Hersteller zu Testzwecken verwendet werden, zu inspizieren. Ergänzend gelten die Bestimmungen von Sec. 206 in Verbindung mit Sec. 205, nach denen das Verweigern obiger Forderungen verboten ist und mit Strafe belegt werden kann.  Sec. 206 sieht jetzt Produktionsfahrzeuge nicht mehr automatisch als gesetzeskonform an, wenn sie gleich wie Zertifizierungsfahrzeuge aufgebaut sind, sondern erlaubt dem Administrator das Nachtesten von Serienfahrzeugen. Bestehen die Wagen den Test nicht, kann das Zertifikat zurückgezogen werden.
207	Nachkontrolle von Fahrzeugen im Verkehr und Garantie	Sec. 207 beschreibt die EPA-Vorgehensweise bei Nachkontrollen von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen sowie allgemeine und eng an diese Nachprüfergebnisse gekoppelte Garantieleistungen. In 207 (a) wird vorgeschrieben, daß der Hersteller für Fahrzeuge oder Motoren, die in Modelljahren hergestellt wurden, deren Beginn mehr als 60 Tage nach Inkrafttreten der „Clean Air Amendments“ von 1970 lag, dem Erstkunden sowie jedem weiteren Käufer garantieren muß, daß das Fahrzeug oder der Motor a) so konstruiert, gebaut und ausgerüstet ist, daß es zum Zeitpunkt des Verkaufs den gültigen Vorschriften von Sec. 202 entspricht und daß es b) frei von Material- und Herstellerfehlern ist, die bewirken könnten, daß ein solches Fahrzeug oder ein solcher Motor während seines „useful life“ (5 Jahre oder 50 000 Meilen) die gültigen Vorschriften nicht einhält. 207 (b) legt fest, daß der Administrator Testverfahren zur Überwachung für im Verkehr befindliche Fahrzeuge festlegen soll, und daß alle Instandsetzungskosten im Falle des Nicht-Bestehens eines Fahrzeugs nach diesem Kurztestverfahren zu Lasten des Herstellers gehen sollen. Als Voraussetzung dafür, daß derartige Verfahren als „vorhanden“ betrachtet werden, waren folgende Kriterien gültig: die Verfahren müssen guter Ingenieurpraxis entsprechen und vernünftig zum offiziellen Zertifizierungstest korrelierbar sein. Die Garantieleistung träte in Kraft, wenn Fahrzeug und Motor nach Herstellerangaben gewartet und betrieben worden wären, wenn das Fahrzeug trotzdem zu irgendeinem Zeitpunkt seines „useful life“ einen Kurztest nicht besteht, und wenn das Nichtbestehen dem Erst- oder Folgekäufer irgendwelche Strafzahlungen oder Sanktionen (einschließlich Betriebsverbot des Fahrzeugs oder Motors) unter einzelstaatlichem oder bundesstaatlichem Recht verursacht.
208	Dokumentation und Recht auf Einsicht	Sec. 208 betrifft die Dokumentationspflicht für alle vom Automobilhersteller durchgeführten Arbeiten zur Erfüllung der Arbeiten im Zusammenhang mit der Sicherung der Verkaufszulassung. Jeder Hersteller muß Unterlagen erstellen und aufbewahren oder anfertigen und einreichen, sowie Informationen liefern, die der Administrator benötigt, um feststellen zu können, ob ein Hersteller gesetzeskonform gehandelt hat. Autorisierte Personen der EPA müssen Zugang zu diesen Dokumenten haben und sie kopieren dürfen.
209	Zertifikations- und Zulassungsrechte von Einzelstaaten	Sec. 209 legt fest, daß kein Einzelstaat der USA Kfz-emissionsbezogene Grenzwerte annehmen oder erlassen darf. Kein Einzelstaat darf Zertifikations-, Inspektions- oder sonstige emissionsbezogene Zulassungsverfahren als Voraussetzung zur Erteilung der Verkaufs- oder Zulassungsgenehmigung fordern. Lediglich für Staaten, die schon vor dem 30. 3. 1966 derartige Standards angenommen hatten, kann nach Hearings eine Ausnahme genehmigt werden durch den Administrator erteilt werden. Dies kann aber nur dann geschehen, wenn die außergewöhnliche Umweltsituation in diesem Einzelstaat schärfere Standards als die Bundesgrenzwerte fordert.
211	Kraftstoff und Gesundheit	Gemäß Sec. 211 kann der Administrator vom Kraftstoffhersteller fordern, Tests durchzuführen, um mögliche gesundheitsschädliche Auswirkungen von Kraftstoffen oder Additiven festzustellen. Er kann die Herstellung und den Verkauf von Kraftstoffen und Additiven verbieten, wenn durch sie eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit entsteht oder Emissionskontrollsysteme in Mitleidenschaft gezogen werden.
212	„Low Emission Vehicles“	Keine gesetzliche Auflagen, aber charakteristisch für das Bemühen, Fortschritt zu erzielen: Die Entwicklung von Fahrzeugen mit besonders niedrigem Emissionsniveau sollte angeregt werden. Es wurde auch ein „Low Emission Vehicle Certification Board“ gegründet, das aus dem „Administrator“ (der EPA), dem „Secretary of Transport“, dem „Chairman on the Council on Environmental Quality“, dem Direktor des „National Highway Safety Bureau“ des DOT („Department of Transportation“), dem „Administrator of General Service“ und zwei vom Präsidenten bestimmten Mitgliedern bestand. Bei positiver Beurteilung von Sicherheit, Fahrleistungen, Zuverlässigkeit, Wartungsfreundlichkeit, Kraftstoffverfügbarkeit, Geräusch und Wartungskosten im Vergleich zu vorhandenen Fahrzeugen, kann das „Low Emission“-Fahrzeug für ein Jahr zertifiziert werden. Diese Fahrzeuge sollen dann von Behörden gekauft werden. Für das Programm wurden bis Ende 1971 noch 5 Mio. \$ sowie für die beiden folgenden Rechnungsjahre jeweils 25 Mio \$ bereitgestellt.

**Bild II.3-2:** Zusammenfassung der wesentlichsten Aussagen der für den Automobilhersteller wichtigen Ergänzungen des „National Emission Standards Act“ („Title II“ des „Clean Air Act“) durch die 1970er „Clean Air Amendments“, nach [290].

Fazit der ganz neu hinzugekommenen Abschnitte sind in Bild II.3-2 zusammengefaßt.

Zum Verständnis der weitreichenden Auswirkungen dieses Gesetzeswerkes auf die Automobilindustrie seien nachfolgend Details der in obigem Bild dargestellten Abschnitte im einzelnen wiedergegeben und entscheidende Punkte kurz diskutiert.

### 3.2.10.1 Aufschub von Standards (Sec. 202)

Die zu diesem Thema in Bild II.3-2 genannten Punkte, die auf den ersten Blick nur verwaltungstechnisch interessant erscheinen mögen, hatten für die Automobilindustrie weitreichende Konsequenzen.

Der Nachweis der "good faith efforts", das heißt der größtmöglichen Anstrengungen, konnte nur gelingen, wenn der um Grenzwert-Aufschub nachsuchende Automobilhersteller weitestgehende Details hausinterner Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sowie über Kosten- und Planungsprogramme und über Organisationsfragen berichtete. Das per "subpoena" (Aufforderung unter Strafandrohung bei Nichtbefolgung) vom Hersteller angeforderte Datenmaterial mußte durch Aussagen von den ebenfalls per "subpoena" zu den sogenannten "suspension request hearings" zitierten Vertretern dieser Firma unter Eid und öffentlich erläutert und ergänzt werden.

Zumindest für die nicht-amerikanischen Automobilhersteller bedeutete dieses Verfahren ein ungewohntes Ansinnen, dem notgedrungen, d. h. um der Sicherung von Exportmöglichkeiten willen, Folge geleistet wurde. Andererseits bot das Zusammentragen und Erläutern der herstellereigenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten die Möglichkeit, durch Erhalt eines einjährigen Aufschubs der "Statutory Standards" (Grenzwerte des "Clean Air Act" nach den "Clean Air Amendments" von 1970) vor dem Zwang zum Einsatz von nicht ausgereiften Systemen oder gar zum Streichen von Modellen aus dem Verkaufsprogramm bewahrt zu werden.

Daimler-Benz stellte bei den Aufschub-Hearings für die 1975er Grenzwerte einen Sonderfall dar, da der im Modellprogramm angebotene Diesel-Motor die zu diesem Modelljahr gehörenden HC- und CO-Grenzwerte unterschritt. Damit schien die in obiger Aufzählung letztgenannte Ausschlußbedingung für die Genehmigung eines Aufschubantrages erfüllt: Es gab eine - sogar bereits serienmäßig eingesetzte - Technologie zur Erfüllung der 1975er Statutory HC- und CO-Standards {291}, die eventuell - wie die EPA vermutete - auch den 1976er NO<sub>x</sub>-Grenzwert unterschreiten konnte {292}.

Da jedoch eine sofortige Umstellung des gesamten Modellprogramms der Daimler-Benz AG weder zeitlich noch technisch möglich gewesen wäre, unterschiedliche Motorgrößen für die verschiedenen Markterfordernisse nicht existierten, und der US-Markt weder in der Lage noch gewillt gewesen wäre, eine totale Umrüstung auf Pkw-Diesel-Motoren aufzunehmen {293, 294}, mußte seitens der EPA entschieden werden, daß diese Technologie - so gut sie auch hinsichtlich des Schadstoffausstoßes war - im Sinne des "Clean Air Act" als "nicht verfügbar" anzusehen und dem Aufschubantrag stattzugeben sei (Entscheidung des EPA-Administrators vom 11.04.1973) {295}.



### 3.2.10.2 Verbotene Aktionen ("Tampering") für Händler und Einzelpersonen (Sec. 203)

Die in der nachfolgenden "Section" (Strafen) genannten Vorschriften betrafen ein für *jedermann* gültiges Verbot des sogenannten "tampering" *vor* dem Fahrzeugverkauf (a) und ein für *Hersteller und Händler* gültiges Verbot, unerlaubte Eingriffe *nach* dem Fahrzeugverkauf (b) durchzuführen.

Es war nicht schwer, die zwischen a) und b) liegende Gesetzeslücke zu erkennen, und so dauerte es nicht lange, bis die sich daraus ergebende Chance vermarktet wurde. Unter Titeln wie: "How to Bypass Emission Control" {296 bis 298}, kamen Gebrauchsanleitungen für jedermann auf den Markt, die detaillierte Hinweise zum Außerbetriebsetzen der von der Automobilindustrie mit hohen Kosten und (im Sinne des "Clean Air Act") zum Schutze der menschlichen Gesundheit entwickelten Emissionskontrollanlagen gaben.

Ohne Bedarf im Markt hätten derartige Schriften allerdings kaum entstehen können, und es muß festgehalten werden, daß Bedarf tatsächlich in großem Maße vorlag. Die mit Emissionskontrollsystemen ausgerüsteten Fahrzeuge, wobei speziell an Spätzündungsmaßnahmen, Abmagerung und Abgasrückführung zu denken ist, wiesen oft gravierende Mängel im Fahrverhalten auf. Die Fahrzeuge reagierten zum Teil nur zögernd auf Betätigung des Fahrpedals oder blieben beim Beschleunigungsversuch oder im Leerlauf stehen. Ebenso traten häufig Überhitzen, Ruckeln und Patschen sowie eine Erhöhung des Kraftstoffverbrauches auf. Aus diesen Gründen war ein echter Bedarf nach Hinweisen zum Außerbetriebsetzen dieser lediglich als nachteilig empfundenen Systeme vorhanden.

Die zitierten Broschüren betonten in der Einleitung, daß für Privatpersonen das Außerbetriebsetzen von Emissionskontrollanlagen legal sei {296}. Diese Behauptung war unter der eingangs zitierten Formulierung der 1970er "Clean Air Amendments" (Section 203 (a) (3)) korrekt.

Einige Zeit nach der Verabschiedung dieser 1970er "Amendments" stellte die US-EPA fest, daß sich eine große Zahl von Service-Stationen und Reparaturwerkstätten, die nicht von Automobilhändlern betrieben wurden, darauf spezialisiert hatten, Emissionskontrollsysteme außer Betrieb zu setzen. Nach Hearings im Kongreß und Untersuchungen durch die EPA wurde jedoch festgestellt, daß sich das Problem auf die Service-Industrie beschränkte und nicht "jedermann" (schon aus Mangel an fachlichen Möglichkeiten beim normalen amerikanischen Bürger) an dieser durchaus nicht dem Sinn des "Clean Air Act" entsprechenden Tätigkeit beteiligt war {299}.

So wurde 1977 die Section 203 (a) (3) durch den Kongreß mittels Zusatzabschnitt B derart ergänzt, daß künftig auch "alle Personen, die im Reparatur-, Service-, Verkaufs-, Verleih- oder Handelsgeschäft mit Fahrzeugen oder Fahrzeugmotoren tätig sind oder die eine Fahrzeugflotte unterhalten", in das "tampering"-Verbot eingeschlossen waren {300}.

Damit war es in den USA allen geschäftlich tätigen Bereichen vor oder nach Verkauf

eines Fahrzeugs verboten, Emissionskontrollsysteme außer Betrieb zu setzen oder zu verändern. Nach wie vor galt dieses Verbot jedoch nicht für den Besitzer eines Fahrzeugs, und es besteht begründete Befürchtung, daß sich an der realen Situation trotz des 1977 verabschiedeten Zusatzes (B) zu Section 203 (a) (3) bis Mitte der 70er Jahre nicht allzuviel geändert hat.

3.2.10.3 Strafen bei Verstoß gegen verbotene Aktionen (Sec. 205)

Im Zusammenhang mit der in Bild II.3-2 genannten Erhöhung der möglichen Strafsumme

Section 203	Verbot gilt für	Verbotene Handlung
(a) (1)	Automobil-Hersteller	Import eines neuen Fahrzeugs oder Motors in die USA, die nach Einsatz dieser Vorschrift gebaut wurden, wenn sie nicht durch ein gültiges Zertifikat gedeckt sind.
(a) (2)	Jede Person	Verweigern oder Versäumen, die in Section 208 geforderten Reports oder Informationen anzufertigen oder den Zugang zu diesen Reports und Informationen sowie das Anfertigen von Kopien zu verweigern.
(a) (3)	Jede Person  Automobil-Hersteller und Händler sowie auf Verdienst arbeitende Unternehmen	Teile des Emissionskontrollsystems vor Aushändigung des Fahrzeugs an den Kunden auszubauen oder unwirksam zu machen.  Teile des Emissionskontrollsystems nach Aushändigung des Fahrzeugs an den Kunden auszubauen oder unwirksam zu machen.
(a) (4)	Automobil-Hersteller	Ein nicht durch ein gültiges Zertifikat gedecktes und mit dem geforderten Hinweisschild versehenes Fahrzeug zu verkaufen oder zu verleihen.

**Bild II.3-3:** Handlungen, die nach Section 203 (a) des „National Emission Standards Act“ (= Title II, des „Clean Air Act“, Part B) verboten sind und bei Zuwiderhandlung gemäß Section 205 mit maximal 10 000 \$ je Verstoß geahndet werden können, nach [301].

Bild II.3-3 zusammengefaßt.

3.2.10.4 Nachkontrolle von Fahrzeugen im Verkehr und Garantie (Sec. 207)

Erhebliche Kontroversen - auch auf internationaler Ebene sind um Sec. 207 (b) entstanden, die Kurztestverfahren für "Surveillance"-Zwecke, d. h. Nachprüfung im Verkehr, behandelt.

Die in Bild II.3-2 genannte Bedingung einer Korrelation dieser Kurztests zum Zertifikationstest konnte bis heute nicht erfüllt werden, eine Tatsache, die - wenn man an die Interpretation der EPA bezüglich voller Herstellerverantwortung und Kostenbelastung an den Hersteller denkt - unübersehbare Implikationen und Komplikationen vermieden hat.

Sollten nämlich brauchbare (d. h. zum Zertifikationstest korrelierbare) Kurztestverfahren für das Fahrzeug gefunden werden, würden diese gemäß 207 (b) (1) gesetzlich vorgeschrieben. Gemäß 207 (b) (2) müßte dann der Hersteller - sobald Teststationen oder Testausrüstungen in den Bundesstaaten vorhanden wären, die diese Tests anwenden könnten - dem Erstkäufer und jedem Folgeerwerber gegenüber ein im Kurztest versagendes Fahrzeug per Garantie instand setzen [302].

Unter Berücksichtigung der unter "Kurztests" in Kap. 8.3 gemachten Angaben über die seitens der Einzelstaaten individuell handhabbaren "Cutpoints" (d. h. einzelstaatlich festlegbaren Grenzwerten für einen derartigen Kurztest) hätte Section 207 - bei tatsächlicher Anwendung dieser Vorschrift - eine der in ihren Folgen unüberschaubarsten Vorschriften des "Clean Air Act" dargestellt. Da jedoch selbst die EPA in ausführlichen Untersuchungen die Forderung nach Korrelation dieser Kurztestverfahren zum Zertifikationstest nicht erfüllen konnte {303}, lag Sec. 207 (b) zunächst "auf Eis", und die im Gesetz vorgeschlagenen Möglichkeiten, den Automobilhersteller finanziell zu belangen, konnten nicht realisiert werden.

Sämtliche Überlegungen, einen neuen Fahrzyklus für den offiziellen Zertifizierungstest einzuführen, mußten also berücksichtigen, ob zu diesem neuen Fahrzyklus eventuell doch ein korrelierbarer Kurztest gefunden werden konnte. Dadurch wäre Section 207 (b) mit allen Folgevorschriften aktiviert worden. Die EPA löste dieses Problem schließlich auf der in Kap. 8.4 beschriebenen Basis.

#### 3.2.10.5 Zertifikations- und Zulassungsrechte von Einzelstaaten (Sec. 209)

Die in Bild II.3-2 genannten Bedingungen zur Anwendung eigener Standards erfüllte nur der Staat Kalifornien, der daher auch eine entsprechende Ausnahmegenehmigung erhielt {304}. Zwar konnte damit ein staatenweites Durcheinander bei künftigen Emissionskontrollgesetzgebungen verhindert werden, es wurde jedoch die technische Splitting zwischen Bund- und Kalifornien-Versionen von Fahrzeugmodellen, die nach unterschiedlichen Standards entwickelt und zertifiziert werden müssen, mit allem Zusatzaufwand und allen Zusatzkosten für die nächste Dekade festgeschrieben.

#### 3.2.11 Der "Energy Supply and Environmental Coordination Act" (ESECA) von 1974

Dieses Gesetz (P.L. 93-319) vom 22. Juni 1974 behandelte Energieengpässe und forderte Berichterstattung über Energiereserven.

Bezüglich Luftqualität sah es für stationäre Emissionsquellen die Möglichkeit zeitlicher Aufschübe von Gesetzesvorschriften vor. In Abschnitt 5 behandelte es die Emissionen aus Motorfahrzeugen, wobei es in Section 202 des "Clean Air Act (as amended)" die Interimstandards für die Modelljahre 1975 und 1976 einsetzte sowie die "Suspension"-Möglichkeit (d. h. die Möglichkeit des Aufschubs von Grenzwerten) für Modelljahr 1977 vorsah {305}.

#### 3.2.12 Die "Clean Air Act Amendments" von 1977 (Der heutige "Clean Air Act")

Unter Berücksichtigung von Kap. 3.2.12.1 kann man nach den "Clean Air Act Amendments" vom 7. August 1977 (P.L. 95-95) vom heutigen "Clean Air Act" sprechen.

##### 3.2.12.1 Änderungen gegenüber dem bisherigen Gesetzesstand

Durch die obengenannten "amendments" (Ergänzungen) wurde der bisherige ständig erweiterte "Clean Air Act" abermals im Umfang modifiziert. Die in diesem Zusammenhang interessierenden Erweiterungen von "Title II" des Gesetzes brachten eine Reihe neuer Auflagen für die Automobilindustrie. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen

Betroffene Section von Title II	Ergänzter Abschnitt	Thema der Ergänzung	Details der Ergänzung zur bisherigen Vorschrift in „Title II“
202 (a) (Standards)	(3)(E)(i)	Gesundheits-Studie d. Admin.	Der Administrator der EPA soll eine kontinuierliche Studie über die Einflüsse eines jeden Schadstoffes von mobilen Emissionsquellen auf die öffentliche Gesundheit anfertigen. Die Ergebnisse der Studie sind bis 1. 6. 1978 (für CO und HC) und bis 1. 6. 1980 (für NOx) im Federal Register zu veröffentlichen und können – nach Hearing – zur Veränderung der Standards führen.
	(4)(A) (B)	Gesundheitsrisiko durch Emissionskontrollsysteme	Ab Modelljahr 1978 darf kein Emissionskontrollsystem(-teil) verwendet werden, das ein unzumutbares Risiko für die öffentliche Gesundheit und Sicherheit verursacht (oder dazu beiträgt). Bei der Beurteilung dieses Risikos soll der Admin. u. a. berücksichtigen, ob und wie stark ein Teil oder System noch nicht begrenzte Schadstoffe verursacht, erhöht, verringert oder vermeidet.
	(5)(A) (6)	Verdunstungsfreies Betanken	Wenn der Admin. „vapor recovery“-(Gasrückführungs)-Systeme vorschreibt, soll er auch „fill pipe“-(Einfüllstutzen)-Standards erlassen, damit Zapfpistole und Tanköffnung zueinander passen. Der Admin. soll prüfen, ob es machbar und wünschenswert ist, zu fordern, daß Neufahrzeuge mit einer „onboard“-(fahrzeugverbundenen)-HC-Speicheranlage auszurüsten sind.
202 (b) (Standards)	(1)(A) (B)	Neufestlegung der Emissionsgrenzwerte für HC, CO u. NOx	Für Mj. 1977–1979 : 1,5 g HC/m; 15,0 g CO/m; Für Mj. 1980 : 7,0 g CO/m; Für Mj. 1980 und folgende: mindestens 90% HC-Reduzierung gegenüber dem im Mj. 1970 zugel. Niveau; Für Mj. 1981 und folgende: mindestens 90% CO-Reduzierung gegenüber dem im Mj. 1970 zugel. Niveau; Der Administrator soll anstelle dieser Standards folgende Grenzwerte für Hersteller, deren weltweite Produktion im Mj. 1976 < 300 000 Stück betrug, festlegen. Mj. 1981–1982: 2,0 g NOx/m (mit gewissen Randbedingungen). Für Mj. 1977 bis 1980 : 2,0 g NOx/m, } Für Mj. 1981 und folgende: 1,0 g NOx/m, }
	(C)	SHED	Für Mj. 1978 und folgende: Verdunstungsverluste sollen vom Gesamtfahrzeug gemessen werden (SHED).
	(4)	Status Report	Der Administrator soll jedes Jahr dem Kongreß über den Entwicklungsstand der Systeme, die die gültigen Standards erreichen sollen, berichten. Berichte sollen Aussagen über Gesundheitseffekte der Schadstoffe und Kosten enthalten. Die notwendigen Informationen kann sich der Admin. per Subpoena beschaffen.
	(5)(A)	CO-Waiver	Ab 31. 8. 1978 kann ein CO-Waiver Antrag für die Modelljahre 1981 und 1982 für einen Interims-Grenzwert von max. 7,0 g/m gestellt werden, wenn bestimmte Randbedingungen erfüllt sind.
	(6)(A)	NOx-Waiver	Jederzeit kann ein NOx-Waiver Antrag für die Modelljahre 1981–1984 für einen Interims-Grenzwert von max. 1,5 g/m gestellt werden, wenn bestimmte Randbedingungen erfüllt sind.
	(7)	Versuchsfzg., das den „Statutory Standard“ im NOx-erfüllt	Der Kongreß erklärt als Forschungsprojekt die Entwicklung von Antriebssystemen und Emissionskontroll-Technologien zum Erreichen von Standards, die eine mindestens 90%ige Absenkung der NOx-Werte gegenüber dem mittleren NOx-Niveau von Fahrzeugen des Modelljahres 1971 darstellen. Innerhalb von 180 Tagen nach Einsatz der 1977er Amendments soll der Admin. von jed. Hersteller, dessen Verkauf in den USA mindestens 0,5% des Gesamt-US-Verkaufs (aller Hersteller) beträgt, fordern, Fzge., die dieses Emiss.-Niveau erreichen, als Versuchsobjekte zu bauen und regelmäßig vorzuführen. Das Fahrzeug muß die übrigen Standards ebenfalls erfüllen. Spätestens für Modelljahr 1979 und dann jedes Jahr danach muß dieses Demonstrationsfahrzeug dem Admin. vorgeführt werden. Ziel dieser Demonstration ist es, a) neue verbrauchsgünstige Antriebsarten und Emissionskontrollsysteme zu fördern, b) sicherzustellen, daß derartige Versuchsträger von den Herstellern tatsächlich gebaut werden könnten und c) den Einsatz von optimalem Motor, Kraftstoff- und Emissionskontrollsystem sicherzustellen.
	(7)(C)(f)(1) (2) (3)	Höhen-Gesetzgeb.	Die für Modelljahr 1977 gültigen „Höhenvorschriften“ werden ab Modelljahr 1978 wieder außer Kraft gesetzt. Neue Regelungen können ab 1981, müssen ab 1984 einsetzen. Sie dürfen keine schärferen Reduktionsraten als bei den „Meereshöhen“-Gesetzen (90%) vorgesehen ist, vorschreiben, wobei sich die 90%-Zahl auf die echten Höhenemissionen von Modelljahr 1970 bezieht. In keinem Fall dürfen „Höhen-Regelungen“, die vor Mj. 1981 einsetzen, schärfere Standards beinhalten, als die für Normalhöhenlagen gültigen. Ehe der Administrator diesbezüglich Vorschriften erläßt, soll er a) die wirtschaftliche Belastung für den Verbraucher, individuelle Händler in Höhengebieten sowie der Automobilindustrie feststellen (hierbei soll er die wirtschaftliche Belastung die im Modelljahr 1977 wegen „Höhenzertifizierung“ eintrat als Erfahrung einbeziehen), b) die heutige und künftige Verfügbarkeit von Emissionskontrollsystemen prüfen, die in der Lage sind, die gültigen Emissionsvorschriften, ohne zu Modellstreichungen zu führen und c) die Wahrscheinlichkeit untersuchen, daß die Annahme derartiger „Höhengesetze“ zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität in den betroffenen Gebieten führt.
203 (a) (Verbotene Handlungen)	(2)	Ausdehnung auf weitere Handlungen.	Als verbotene Handlung gilt jetzt auch (für jede Person), die (nach Section 206, c) zulässigen Inspektionen bzw. das Recht auf Zutritt und zur Durchführung von Nachtests zu verweigern.
	(3)(B)	„Tampering“	Das Verbot für Automobilhersteller und Händler, nach der Übergabe eines Fahrzeugs an den Kunden irgendwelche Teile des Emissionskontrollsystems auszubauen oder unwirksam zu machen, wird auf alle Personen erweitert, die diese Arbeiten zum Zwecke des Gelderwerbs betreiben.
	(4)(C)	Hersteller-Ersatzteile u. -Kundendienst (Garantie)	Der Automobilhersteller darf in keiner Kommunikation mit Erst- oder Folgeerwerbern des Fahrzeugs weder direkt noch indirekt darauf hinweisen, daß die Gewährung von Garantie die Verwendung irgendeines Teils oder Systems, das vom Automobilhersteller oder irgendeiner in seinem Auftrag arbeitenden Person hergestellt wurde (Originalteile), voraussetzt. Die Garantiegewährung darf auch nicht davon abhängen, ob der entsprechende Service von einer der o. g. Stellen durchgeführt wurde (Hersteller oder Vertragswerkstätten).
205 (Strafen)	Text erweitert	Trennung der Strafen	Bei Verstoß gegen Sec. 203 (a) (1) „Verkauf von Fahrzeugen oder Motoren ohne Zertifikat“, Sec. 203 (a) (2) „Verweigerung von Zutritt und Einsicht“, Sec. 203 (a) (3) „Verkauf von Fahrzeugen oder Motoren ohne Erfüllung der Garantiauflagen“: 10 000 \$. Bei Verstoß geg. Sec. 203 (a) (3) (B) „Geschäftsmaßiges Tampering“: 2500 \$.
206 (a) (Zertifizierung)	(2)(A) (B)	Nachweis der Gesundheitsunschädlichkeit	Ein Zertifikat wird nur noch erteilt, wenn zur Zufriedenheit des Admin. die (in Sec. 202 (a) (4) geforderte) Gesundheitsunschädlichkeit der verwendeten Emissionskontrollsysteme nachgewiesen wird. Zum Nachweis dafür kann der Admin. selbst Tests fahren, Tests vom Hersteller fordern oder durch andere Stellen fahren lassen.
	(f)(1) (2)	Höhengebiete	Für Mj. 1984 und später müssen alle LDV die vorgeschriebenen Grenzwerte unabhängig von der Höhe in der sie verkauft werden erfüllen. Bis 1. 10. 1978 muß der Administrator dem Kongreß über wirtschaftliche Auswirkungen und technische Machbarkeit dieser Vorschrift sowie eventueller Zwischenstandards berichten.

**Bild II.3–4:** Änderungen des „Clean Air Act-as amended“ durch die „Clean Air Act Amendments“ vom 7. Aug. 1977 (P.L. 95-95) für die Abschnitte 202–206 des „National Emission Standards Act“ („Title II“,), nach [306].

Betroffene Section von Title II	Ergänzter Abschnitt	Thema der Ergänzung	Details der Ergänzung zur bisherigen Vorschrift in „Title II“
207 (a) (Garantie)	(2)	Teilezertifizierung	Im Falle von Fahrzeug- oder Motorenteilen kann der Hersteller oder Nachbauer solcher Teile durch ein Zertifikat bestätigen, daß die Verwendung des Teiles nicht dazu führt, daß das Fahrzeug oder der Motor die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte nicht mehr einhält. Die Bedingungen einer solchen „Teilezertifizierung“ muß der Administrator spätestens bis August 1979 festlegen.
	(3)	Hersteller trägt Kosten für „emission-designed“ Teile	Die Kosten irgendeines Teiles am Fahrzeug, das zur Emissionskontrolle vorgesehen ist („designed for emission control“) und das nach Herstelleranweisung während der normalen Lebensdauer („useful life“) des Fahrzeugs gewechselt werden muß, damit das Fahrzeug die gültigen Emissionsgrenzwerte einhält, und dessen Ausfall nicht das normale Leistungsverhalten des Fahrzeugs beeinflussen darf, und dessen Ersatzteil-Kosten einschließlich der Einbaukosten mehr als 2% des Fahrzeugverkaufspreises beträgt, müssen vom Hersteller getragen oder dem Kunden ersetzt werden. Durch den Wechsel dieses Teils (z. B. Katalysator, Reaktor) dürfen weder dem Erst- noch Folgeerwerber des Fahrzeugs noch dem Händler Kosten entstehen.  Unter „designed for emission control“ ist ein Teil zu verstehen, dessen Hauptzweck oder einziger Zweck Emissionskontrolle ist. Ausgenommen sind Teile, die schon vor Modelljahr 1968 im Einsatz waren oder deren Hauptfunktion nicht die Emissionskontrolle ist.
207 (b)(2) (Garantie)	(C)	Garantie-Zeit	Garantiegewährung darf nicht aufgrund der Tatsache versagt werden, daß Teile beliebigen Ursprungs eingebaut wurden, solange diese Teile nur „zertifiziert“ waren. Als Garantiezeit gelten in diesem Zusammenhang 24 Monate oder 24 000 Meilen, je nachdem was zuerst eintritt.
207 (c)(3) (Garantie)	(A)	Hinweise für den Kunden	Die Instruktionen für den Kunden sollen den Vorschriften entsprechen, die der Administrator vorschlagen wird. Der Hersteller muß in den Wartungsanweisungen für den Kunden auf Seite 1 darauf hinweisen, daß Wartung, Tausch oder Reparatur von Teilen des Emissionskontrollsystems von jeder beliebigen Reparaturwerkstatt oder Einzelperson unter Verwendung irgendwelcher (d. h. hinsichtlich Fabrikat und Hersteller nicht vorgeschriebener) „zertifizierter“ Teile durchgeführt werden dürfen.
	(B)	Freie Teile- und Werkstattwahl	Die Wartungsanweisungen von (A) dürfen an keine Bedingungen geknüpft werden, daß der Kunde bestimmte Teile verwendet oder die Wartung in bestimmten Werkstätten ausführen läßt.  Lediglich für kostenlose Arbeiten dürfen Vorschriften für zu verwendende Teile oder den Ort der Wartung (Vertragswerkstatt) gegeben werden. Ausnahmen von dieser Regelung sind nur dann möglich, wenn der Automobilhersteller den Administrator der EPA davon überzeugt, daß a) Fahrzeug oder Motor nur dann ordnungsgemäß arbeiten, wenn ein fest vorgeschriebenes Teil verwendet wird und b) der Administrator befindet, daß eine Ausnahme von den Vorschriften im öffentlichen Interesse liegt.
207 (Garantie)	(g)	Kunde trägt Kosten für „emission-related“ Teile	Der Fahrzeugbesitzer ist dafür verantwortlich, daß „emission-related“ Teile wie Zündkerzen, Unterbrecher-Kontakte etc. ordnungsgemäß gewartet und ersetzt werden. Er hat die Kosten dieser Arbeiten, die er durchführen lassen kann, wo er will, zu tragen. Ausgenommen sind die in 207 (a) genannten „emission-designed“ Teile.
	(h)(1)	Händler-Zertifikat	Beim Verkauf des Fzgs. muß der Händler dem Kunden ein Zertifikat übergeben, daß das Fzg. den Vorschriften von Sec. 202 entspricht (d. h. alle gültigen Standards/Auflagen erfüllt) und den Kunden auf seine Rechte nach (h) (2) hinweist.
	(h)(2)	Instandsetzung durch Hersteller	Wenn ein Fzg. zu irgendeiner Zeit während der Garantieperiode nach Sec. 207 (b) die gültigen Standards nach Sec. 202 nicht erfüllt, muß der Hersteller das Fzg. kostenlos instandsetzen.
	(h)(3)	Vorschriften von Einzelstaaten	Nach der Zulassung von Fzgn. dürfen Einzelstaaten das Nachtesten von Fzgn. durchführen oder fordern, jedoch nicht seitens des Herstellers oder des Händlers.
209 (Einzelstaaten-Standards)	(b)(1)	Waiver-Bedingung	Ein Waiver für einzelstaatliche separate Standards kann der Administrator nur erteilen, wenn diese Stds. „insgesamt gesehen die öffentliche Gesundheit mindestens genau so stark schützen wie die Bundes-Stds.“ Ein Waiver wird nicht erteilt, wenn a) die Standards willkürlich und unbegründet („arbitrary and capricious“) sind, b) der Einzelstaat diese Stds. nicht braucht, um einer außergewöhnlichen Umweltsituation zu begegnen, c) die Stds. von Ausführungsbestimmungen begleitet werden, die nicht mit Sec. 202 (a) konsistent sind.
	(b)(2)	Bewertung und Möglichkeiten von Einzelstaaten-Standards	Ist ein Einzelstaaten-Std. mindestens genau so streng wie ein Bundes-Std., so wird er als mindestens genau so gesundheitsschützend betrachtet.
	(3)		Wenn ein Hersteller einen Waiver-Einzelstaaten-Std. erfüllt, wird dies auch als Erfüllung des entsprechenden Bundes-Stds. angesehen.
	(c)	dto.	Falls eine Teile-Zertifizierung nach Sec. 207 (a) (2) existiert, darf ein Einzelstaat, der ein Waiver hat, keine eigenen Stds. oder Vorschriften zur Zertifizierung oder Inspektion von solchen Teilen erlassen (außer Kalifornien).
	(d)	dto.	Nach der Zulassung von Fzgn. dürfen Einzelstaaten Vorschriften zur Kontrolle oder Betriebsbeschränkung dieser Fzge. erlassen.
214 (Partikelstudie)	214 (a)(1)	Aufgaben des Administrators	Der Administrator soll eine Studie über die gesundheitlichen Auswirkungen von Partikel-Emissionen der von Title II Section 202 betroffenen Fahrzeuge anfertigen. Die Studie soll diese Emissionen beschreiben und quantifizieren und den Zusammenhang mit der Verwendung versch. Kraftstoffe und Kraftstoffzusätze analysieren.
	(2)	dto.	Die Studie soll auch solche Partikel-Emissionen von Fahrzeugen erfassen, die nicht vom Motor stammen (z. B. Reifenabrieb, Asbeststaub von den Bremsen).
	(b)	dto.	Die Studie soll bis spätestens August 1979 dem Kongreß vorgelegt werden und soll Vorschläge für Grenzwerte und Verfahren zur Limitierung dieser Emissionen enthalten.
215 (Höhen-Einstellungen)	215 (a)(1)	Verstell-Erlaubnis	Das Verbot eines Eingriffs in das Emissionskontrollsystem gilt nicht für Maßnahmen, die zur Anpassung des Fahrzeugs an den Betrieb in Höhegebieten dienen.
	(2)	Verstell-Verbot	Werden die Emissionen des Fahrzeugs durch derartige Eingriffe nicht wenigstens auf dem Niveau gehalten, das sie ohne den Eingriff gehabt haben, werden die Eingriffe nicht erlaubt.
	(b)(1)	Hersteller-Anweisungen	Hersteller-Anweisungen für Motoreinstellungen, die zum Erfüllen der Standards notwendig sind, müssen dem Administrator vorgelegt werden.
	(2)	Verstöße/Strafen	Verstöße gegen Sec. 215 (a) (1) werden wie Verstöße gegen Sec. 203 (a) (3) behandelt und mit Strafen gemäß Sec. 205 belegt.
	(3)	Umstellg. v. Höhe auf Meereshöhe	Die Hersteller-Anweisungen müssen auch Einstellvorschriften enthalten für Fahrzeuge, die in Höhegebieten verkauft, aber dann in „Meereshöhe“ betrieben werden.
	(c)	Original-Teile	Für die Umbauten nach Sec. 215 dürfen keine Herstellerteile vorgeschrieben werden, es sei denn der Hersteller weist nach, daß es zur Erfüllung der Stds. erforderlich ist.
	(d)	Gültigkeit von Sec. 215	Vor dem 1. Jan. 1981 gilt Sec. 215 in allen Staaten in Höhegebieten, ab 31. Dez. 1981 jedoch nur in solchen Staaten in Höhegebieten, in denen Überprüfungs- und Wartungsprogramme für die Zonen des Staates eingerichtet wurden, in denen die nationalen AQ-Standards für Emissionen aus Autoabgas nicht erreicht werden.

**Bild II.3-5:** Änderungen des „Clean Air Act – as amended“ durch die „Clean Air Act Amendments“ vom 7. Aug. 1977 (P.L. 95-95) für die Abschnitte 207 bis 215 des „National Emission Standards Act“ (Title II), nach [306].

und Ankündigungen ist in Bild II.3-4 und in Bild II.3-5 zu finden. Darüber hinaus sollen – zur Verdeutlichung der Problematik einer Abweichungsmöglichkeit von den in einem derartigen Rahmen gesetzlich festgeschriebenen Grenzwerten und Vorschriften – die für eine entsprechende Ausnahmeregelung zu erfüllenden Randbedingungen aufgezeigt werden.

### 3.2.12.2 Voraussetzungen für die Gewährung einer Ausnahmegenehmigung ("waiver")

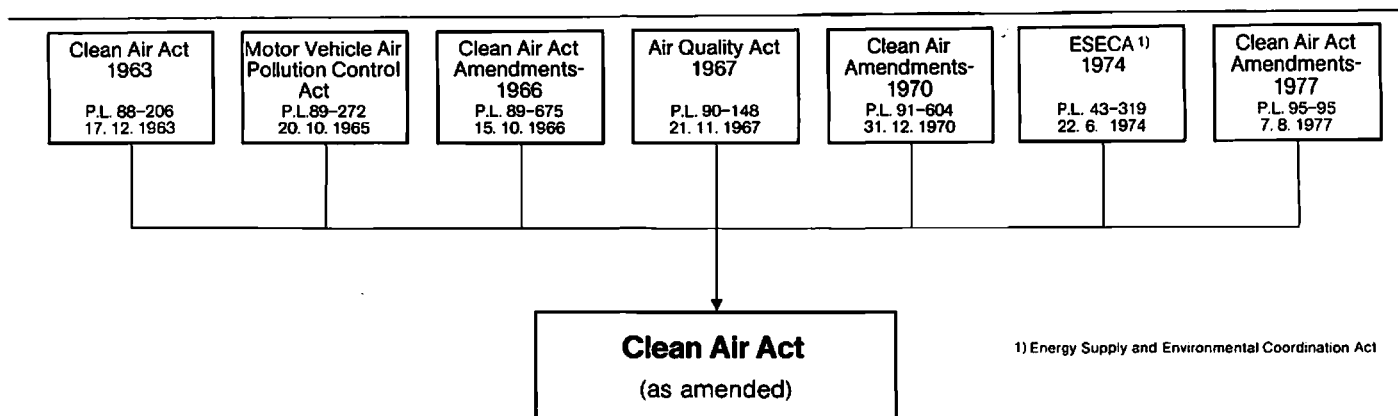
Unter den in Bild II.3-6 gezeigten Bedingungen war es möglich, eine Ausnahmegenehmigung von den gesetzlich verankerten 81/82er CO- und den 81 bis 84er NO<sub>x</sub>-Grenzwerten zu erhalten.

Randbedingungen für	
CO-Waiver	NO <sub>x</sub> -Waiver
<p>Innerhalb von 60 Tagen, nachdem ein Automobilhersteller Antrag auf Ausnahmegenehmigung von den für Modelljahr 1981 und 1982 gültigen CO-Grenzwerten gestellt hat und nach einem öffentlichen Hearing, muß der Administrator über Gewährung oder Ablehnung eines Waiver entscheiden. Er kann die beantragte Ausnahmegenehmigung erteilen, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– er entscheidet, daß die öffentliche Gesundheit die in den Statuten vorgesehene 90%ige CO-Reduzierung nicht zwingend erfordert</li> <li>– die Ausnahmegenehmigung im öffentlichen Interesse liegt</li> <li>– größtmögliche Anstrengungen unternommen worden sind, die gesetzlichen Standards zu erreichen („good faith efforts“)</li> <li>– der Antragsteller nachweisen kann, daß wirksame Kontrolltechnologien, Verfahren, Arbeitsweisen oder andere Alternativen nicht vorhanden sind oder nicht ausreichend Zeit zur Verfügung stand, um für ein bestimmtes Modell den Erfüllungsnachweis erbringen zu können; wobei Faktoren wie Kosten, Fahrbarkeit und Kraftstoffverbrauch zu berücksichtigen sind</li> <li>– Studien und Untersuchungen der NAS („National Academy of Sciences“) sowie sonstige Untersuchungen nicht anzeigen, daß Technologien, Verfahren oder andere Alternativen zum Erreichen der Grenzwerte vorhanden sind.</li> </ul>	<p>Auf Antrag des Automobilherstellers kann der Admin. für den NO<sub>x</sub>-Grenzwert der Modelljahre 1981 bis 1984 eine Ausnahmegenehmigung erteilen. Er kann als Interims-Grenzwert jeden Wert zwischen (höchstens) 1,0 und 1,5 g/m für den gesamten 4-Jahres-Zeitraum oder gestaffelte Zeiträume festlegen, wobei das Waiver sofort ungültig wird, wenn zwischenzeitlich eine Technologie, die 1,0 g/m erreicht, verfügbar wird. Der Interims-Regelung wird nur zugestimmt, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– der Automobilhersteller beweist, daß diese Ausnahme notwendig ist, um den Einsatz einer „innovativen“ Antriebstechnik oder eines „innovativen“ Emissionskontrollsystems (das im Modelljahr 1975 in nicht mehr als 1% der in den USA verkauften „light duty vehicles“ eingebaut gewesen sein darf) zu gewährleisten</li> <li>– das Waiver nicht die öffentliche Gesundheit gefährdet</li> <li>– eine deutliche Wahrscheinlichkeit besteht, daß die Fahrzeuge nach Waiver-Ablauf die gültigen Grenzwerte einhalten</li> <li>– daß das System oder die Technologie auf lange Sicht Luftqualitätsverbesserungen bringen und bei Waiver-Auslauf die im „Energy Policy and Conservation Act“ festgelegten Kraftstoffverbrauchsnormen mindestens erfüllt</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>oder</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– wenn durch das Waiver der Einsatz der Diesel-Technologie möglich wird.</li> </ul> <p>Ein genehmigtes Waiver gilt nur für max. 5% der Produktion des antragstellenden Herstellers oder für max. 50 000 Fahrzeuge, je nachdem, welches Kriterium größer ist.</p> <p>Im Falle, daß das Waiver nur deshalb genehmigt wird, damit die Diesel-Technologie zum Einsatz gelangen kann, kommt zu den für eine Waiver-Erteilung notwendigen Bedingungen noch die Auflage dazu, daß dieses Waiver zu einer bedeutenden Kraftstoffverbrauchseinsparung führt, die mindestens genauso groß ist, wie der für die einzelnen Modelljahre gemäß dem „Energy Policy and Conservation Act“ gültige Verbrauchsgrenzwert.</p>

**Bild II.3-6:** Voraussetzungen zur Gewährung einer Ausnahmegenehmigung („Waiver“) bezüglich des 1981/82er CO- und 1981/84er NO<sub>x</sub>-Grenzwertes, nach [307].

### 3.2.13 Zusammenfassung der Geschichte des "Clean Air Act – as amended"

Der "Clean Air Act" bildet die Grundlage aller auf die Emissionskontrolle von mobilen und stationären Quellen bezogenen Vorschriften und Gesetze der USA. Sein Weg zum heutigen Status, der – bezogen auf die für Emissionen aus Automobilen geltenden Abschnitte dieses Gesetzeswerkes – im Bild II.3-7 noch einmal veranschaulicht ist, hat sich kontinuierlich über mehrere Legislaturperioden unterschiedlicher Führung (d. h. unter den Präsidenten Eisenhower, Kennedy, Johnson, Nixon, Ford und Carter) weiterentwickelt. So variabel die während der Lebensgeschichte dieses Gesetzeswerkes in Erscheinung getretenen Ansichten seiner Urheber und Bearbeiter auch waren (wie in Kap. 4 näher erläutert wird), so konsistent wurde doch der Weg verfolgt,



**Bild II.3-7:** Gesetze, die zum heutigen Stand des „Clean Air Act“ geführt haben (im Zusammenhang mit Auto-Emissionen)

gegen die wachsende Gefahr der Luftqualitätsverschlechterung immer intensivere und aufwendigere Forschungsprogramme einzuleiten und immer weitgehendere Auflagen und Bestimmungen zu erlassen.

Durch Kombination von strengen technischen Auflagen mit juristisch nahezu perfekt abgesicherten Verfahrensvorschriften, stellt der heutige "Clean Air Act" der USA einen der härtesten und möglicherweise folgeschwersten gesetzgeberischen Eingriffe in den Herstellungsprozeß von Kraftfahrzeugen dar.

#### 4. Philosophie der US-Emissionskontrollgesetzgebung

Wie die Ausführungen in Kap. 3 gezeigt haben, begannen mit der Erkenntnis, daß das Automobil in bedeutendem Umfang zur Verschlechterung der Luftqualität besonders in Stadtgebieten und unter speziellen geographischen und klimatischen Bedingungen beitrug, Bemühungen des Gesetzgebers, die aus dieser Quelle stammenden Emissionen zu erfassen, zu begrenzen und zu senken.

Hierbei sind international im wesentlichen zwei verschiedene Ansätze zur Luftreinhaltungspolitik zu beobachten, die sich einerseits als ein "Anpassen an vorhandene Möglichkeiten" und andererseits als "Fordern aufgrund bestimmter Erkenntnisse" darstellen lassen und einleitend kurz beschrieben werden sollen. Der letzteren Vorgehensweise liegt die Philosophie moderner Emissionskontrollgesetzgebung für Automobile zugrunde, und am Beispiel der USA sei - stellvertretend für alle Länder mit entsprechender Problemstellung - der historische Entstehungs- und Wandlungsprozeß dieser Philosophie verfolgt.

Das Aufzeigen verschiedener Richtungen und zeitlicher Veränderungen behördlicher Denkungsweise soll zum Verständnis der Entwicklungsgeschichte der bekannten umfangreichen Emissionskontrollvorschriften sowie der mit diesen Gesetzen und Zielvorstellungen verbundenen Randerscheinungen ("Consent Decree", "Hearings", Sanktionen etc.) beitragen und einen weiteren Eindruck von den mit der Zulassung von Fahrzeugen auf dem US-Markt verbundenen Problemen vermitteln.

#### 4.1 Der "Best Practical Means Approach"

Dieses Verfahren will die ökonomisch bestgeeigneten Systeme zur Emissionskontrolle anwenden und Luftverunreinigung so weit wie möglich vermeiden. Die Methode war besonders bei Industrieanlagen (Punktquellen) von guter Wirkung, wodurch schneller und leichter Verbesserungen erzielt wurden, als wenn man von den Auswirkungen bestimmter Luftverunreinigungen ausgegangen wäre. Die Luftqualität wird also verbessert, ohne daß detaillierte Kenntnisse der vorhandenen Emissionen (oder der dadurch entstandenen Immissionssituation und darüber hinaus der verursachten Folgen) erforderlich sind {308}.

Der Nachteil des "best practical means approach" liegt darin, daß unter Umständen keine befriedigende Luftqualität erreicht und kaum neue Lösungen zur Emissionskontrolle oder neue Technologien stimuliert werden.

#### 4.2 Der "Air Resources Management Approach"

Bei dieser Methode beruhen alle Programme zur Luftreinhaltung auf gewünschten oder zum Schutz der menschlichen Gesundheit für erforderlich gehaltenen Luftqualitätskriterien. Die existierenden Emissionen sowie die vorhandenen Verschmutzungssituationen werden erfaßt und Grenzwerte für akzeptablen Schadstoffausstoß in die Umwelt festgelegt. Zukünftige Luftverunreinigungssituationen werden mittels Diffusions-Modellen unter Berücksichtigung von Urbanisations- und Industrialisierungskriterien, wirtschaftlichem Wachstum etc. errechnet. Entspricht die (augenblickliche oder künftig erwartete) Luftqualität nicht den vorgegebenen Zielen, wird ein Luftreinhalungsprogramm mit Ableitung von Grenzwerten aus der notwendigen Emissionsverringering initiiert {309}.

Verlangen diese Grenzwerte eine noch nicht vorhandene Technologie, werden entsprechende Forschungen eingeleitet, wobei nicht nur neue Emissionskontrollsysteme unter Verwendung existierender Techniken sondern auch ganz neue Alternativen gesucht werden.

Obwohl man bei dieser Methode logisch vorgeht, indem Luftverunreinigung vermieden und nicht nur die bereits vorhandenen Schäden beseitigt werden sollen, stößt die praktische Anwendung auf Schwierigkeiten. Außer in der Bestimmung/Berechnung von Emissionen der Diffusionsmodelle liegen Schwierigkeiten z. B. in der Emissionsvorhersage und in den Unsicherheiten des allgemeinen wirtschaftlichen Wachstums.

In der Praxis wird in den meisten Ländern daher eine Kombination aus den beiden obengenannten Vorgehensweisen angewendet, wobei der "best practical means approach" zur sofortigen Behandlung existierender Schäden oder Gefahren dient, und Zukunftsprobleme durch den "air resources management approach" in Angriff genommen werden. Letzteres Verfahren beeinflusst in mehr oder weniger starkem Maße die technischen Entwicklungen und kann zum sogenannten "technology-forcing" führen, wie nachfolgend am Beispiel der US-Gesetzgebung unter weitgehender Wiedergabe der Ausführungen in {310} näher erläutert wird.



#### 4.3 Entwicklung der US-Emissionskontrollgesetzgebung

In den USA läßt sich der Zeitraum von den Anfängen der Bemühungen auf dem Gebiet der Luftreinhaltung (1955) bis zur totalen Neudefinition der Emissionsbegrenzungs-politik (1970) durch Zitate von zwei Repräsentanten dieser Ära in seinen Extremwer-ten abgrenzen {310}:

*John T. Middleton*, Beauftragter der "National Air Pollution Control Administration" (NAPCA), 1967:

"Wir würden Grenzwerte nur für solche Emissionsquellen festlegen, die durch Anwendung vorhandener, wirtschaftlich und technisch praktikabler Technologie kontrolliert werden können."

Senator *Edmund S. Muskie*, Maine, Demokrat, 1970:

"Vorhersagen, was technologisch machbar oder nicht machbar sei, sind keine ausreichenden Gründe, strenge Grenzwerte zu vermeiden und bezüglich der öffentlichen Gesundheit Kompromisse zu schließen. Nur ein klarer Einschnitt und harte Politik kann die benötigten Anstrengungen bewirken."

Der Übergang von der Ansicht Middletons auf die Haltung Muskies erfolgte nicht abrupt, er bedurfte einer Periode von 15 Jahren und vollzog sich in den drei Hauptab-schnitten:

- a) Behördliche Entwicklung von Technologien (unter der Annahme, daß sie bei Verfügbarkeit eingesetzt würden) in den Jahren 1955 bis 1963.
- b) Forderung zum Einsatz der behördlicherseits entwickelten Technolo-gien in den Jahren 1965 bis 1969.
- c) Behördlicher Zwang für den Verursacher, neue Technologien selbst zu entwickeln und einzusetzen in den Jahren ab 1970.

Es zeigte sich bald, daß die behördlichen Anstrengungen a) und b) allein nicht aus-reichten, die existierenden Probleme zu lösen und daß der Luftverunreiniger selbst genau so wenig Interesse an der technischen Problemlösung wie an der Anwendung be-hördlicherseits entwickelter Systeme hatte.

Die Erfahrungen aus diesen beiden Schritten führten daher zur dritten Stufe der Luftreinhaltungspolitik, die mit dem amerikanischen Ausdruck "technology forcing" am besten zu charakterisieren ist und mit den "Clean Air Amendments" von 1970 ein-setzte. "Technology forcing" bedeutet, daß der Verursacher von Luftverunreinigungen nicht nur vorhandene Technologien anwenden, sondern neue Technologien selbst ent-wickeln muß, wobei - um dieses Ziel zu erreichen - Grenzwerte erlassen wurden, deren Erfüllung mit der zu jedem Zeitpunkt vorhandenen Technologie nicht möglich war.

Die dieser Politik zugrundeliegende Denkungsweise forderte als konsequente Ergänzung der am Verabschiedungstag noch nicht erreichbaren Standards die Festlegung von Stra-fen für den Fall des Nichterfüllens der behördlichen Auflagen.

Nachfolgend seien die obengenannten Zeitabschnitte, deren Zielsetzungen und Enttäu-schungen schließlich zum "technology-forcing" Konzept der "Clean Air Amendments" von 1970 führten, im einzelnen näher betrachtet.

#### 4.3.1 Behördliche Entwicklung von Technologien in den Jahren von 1955 bis 1963

In den Jahren 1955 bis 1963 lag der Schwerpunkt auf dem Gebiet von Luftreinhaltungsmaßnahmen auf behördlicher und behördlich geförderter Forschung und Entwicklung. Man nahm an, daß das entwickelte Instrumentarium auch tatsächlich eingesetzt würde, sobald es verfügbar war.

Ein im Jahre 1955 vom Kongreß verabschiedeter 5-Jahres-Plan sollte Forschungen anregen und technische Unterstützung auf dem Gebiet der Luftreinhaltung gewähren. Ein Forschungsbudget von 5 Millionen \$ pro Jahr repräsentierte das behördliche Engagement. Man betonte jedoch im Haus und im Senat, daß der Plan kein Versuch sei, Luftreinhaltungsstandards zu erlassen oder Luftreinhaltung per Gesetz in den Griff zu bekommen. Im Jahre 1959 wurde der Plan um weitere 4 Jahre verlängert, abermals unter Hinweis darauf, daß sich die Rolle der Bundesregierung lediglich auf Forschungsaktivitäten beschränke. Falls es nach Bereitstellung von Technologien ratsam sei, Gesetze zu verabschieden, wäre dies Aufgabe lokaler Behörden.

Der erste Antrag, von reiner Forschungsaktivität auf gesetzgeberische Arbeiten überzugehen, wurde im "Schenck-Act" von 1957 gestellt (Paul F. Schenck; Ohio, Republikaner). Der Schenck-Vorschlag hätte es dem Gesundheitsminister auferlegt, HC-Grenzwerte für die Auto-Auspuffemissionen zu erlassen.

In den Jahren 1958 und 1959 erfolgten zu diesem Vorschlag Hearings und ein weiteres Papier, die "McDonough-Bill", wurde diskutiert (Gordon L. McDonough; Kalifornien, Republikaner). Während das überarbeitete Schenck-Papier vom Gesundheitsminister innerhalb eines Jahres Abgasstandards für solche Emissionen forderte, "für die genügend wissenschaftliche Informationen vorlagen, um sie als gesundheitsschädlich einstufen zu können" und ein Verbot der Benutzung von Fahrzeugen, die diese Grenzwerte nicht erreichten, vorsah (vorausgesetzt der Gesundheitsminister hatte entschieden, daß vernünftige Methoden zur Kontrolle dieser Emissionen vorhanden waren), bezog sich das McDonough-Papier nicht auf vorhandene Fahrzeuge und machte auch nicht die Einschränkung, daß eine Technologie vorhanden sein müsse. Es forderte vielmehr vom Gesundheitsminister innerhalb von 6 Monaten Emissionsgrenzwerte für unverbrannte Kohlenwasserstoffe und andere giftige Gase, die die menschliche Gesundheit gefährdeten. Es sah ein Verbot der Herstellung oder des Verkaufs neuer Fahrzeuge vor, die 1 Jahr nach Veröffentlichung des Gesetzes die Grenzwerte nicht einhalten konnten.

Das McDonough-Papier hätte damit erstmals eine "technology-forcing" Vorgehensweise praktiziert. Die Bundesbehörde lehnte den Vorschlag jedoch ab und betonte abermals, daß es ihre Aufgabe lediglich sei, durch Forschung "zu Standards und Kriterien bezüglich Luftqualität zu gelangen, die in einzelstaatlicher oder lokaler Gesetzgebung angewendet werden können".

Im Jahre 1963 forderte der Präsident eine Überarbeitung des 1955er Gesetzes. Der Kongreß kam dieser Aufgabe nach, und es entstand der "Clean Air Act" von 1963. Dieses Gesetz erlegte dem Leiter des DHEW auf, nicht nur an der Erforschung von luft-

verunreinigenden Stoffen zu arbeiten und nicht nur Dokumente mit Kriterien für Gesundheitsschädlichkeit zu veröffentlichen, sondern auch effektive und praktische Möglichkeiten, Methoden und Prototypen von Teilen zur Vermeidung oder Begrenzung der Luftverunreinigung zu entwickeln.

Obwohl diskutiert wurde, ob man mit der letzteren Forschungsaufgabe nicht auch private Stellen beauftragen sollte, sah das verabschiedete Gesetz schließlich doch ausschließlich eine Erweiterung der Forschungsaktivitäten des Bundes auf der Suche nach neuen Technologien vor. In einem Punkt gab das 1963er Gesetz der Bundesregierung allerdings erstmals die Möglichkeit, bei der Bekämpfung der Luftverunreinigungen per gesetzlicher Vorschrift mitzuwirken: Nach dem Modell der bundesweiten Regelungen gegen Wasserverschmutzung wurde ad hoc ein Programm erarbeitet, durch das die Bundesbehörde die Behandlung des interstaatlichen Luftverschmutzungsproblems aufnehmen konnte. Diese Möglichkeit ging jedoch nicht so weit, daß vom DHEW Grenzwerte oder Vorschriften erlassen werden konnten.

Es war eindeutig, daß Luftreinhaltung in einzelstaatlicher und lokaler Verantwortung blieb, dem Gesundheitsminister bezüglich Vorschriften die Hände gebunden und die Industrie geschützt waren. Das ganze Problem der Vorschriften wurde ohnehin nur derart gesehen, daß die *Anwendung* vorhandener Reinigungssysteme gesetzlich erzwungen werden könnte. Schenck gab zu bedenken, daß "viele Reinigungssysteme schon vorhanden seien, daß aber die meisten Städte oder Staaten die Verantwortung, deren Anwendung zum Wohle ihrer Bewohner durchzusetzen, nicht übernehmen wollten oder könnten". Das einzige Stadtgebiet mit einem nennenswerten Luftreinhaltungs-Programm war zu dieser Zeit Los Angeles. Aber auch hier galt noch die Meinung des Stadtrates, daß "Maßnahmen an vorhandenen Fahrzeugen nur dann durchgeführt werden könnten, wenn die entsprechenden Teile perfekt entwickelt, in ihrer Wirksamkeit belegt, auf dem Markt verfügbar, und die Forderung nach ihrem Einsatz vernünftig sei".

#### 4.3.2 Forderung zum Einsatz der behördlicherseits entwickelten Technologien in den Jahren von 1965 bis 1969

Nach einem Jahrzehnt steigender Luftverschmutzung und ausschließlich auf Forschung ausgerichteter Aktivitäten des Bundes erkannte der Kongreß 1965 und 1967, daß die Verursacher von Luftverunreinigungen kein natürliches Interesse am Einsatz der bereitgestellten Technologie hatten. Obwohl die Auffassung, daß die Verantwortung zum Entwickeln neuer Technologien bei der Behörde läge, auch weiterhin vertreten und die behördlichen Forschungsanstrengungen abermals erhöht wurden, begann der Kongreß jedoch gleichzeitig, Vorschriften zu erlassen, die das tatsächliche Anwenden vorhandener Technologien vorschrieben.

Als Gesetz wurde der "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" von 1965 verabschiedet, der dem DHEW außer den Auftrag zur erhöhten Forschung auch die Berechtigung erteilte, Anlagen zu bauen und auszurüsten, um diese Forschungen betreiben zu können. Darüber hinaus etablierte obengenanntes Gesetz erstmals ein Programm für eine Bundes-Gesetzgebung bezüglich der Emissionen aus Automobilen.

Da Einzelstaaten zu dieser Zeit begannen, ebenfalls entsprechende Gesetze zu erlassen, wurde seitens der Industrie, die bundeseinheitliche Grenzwerte naturgemäß bevorzugte, dem 1965er Gesetz nicht widersprochen. Abgasreinigungsanlagen waren unbestritten vorhanden, und es galt nur noch, sie auch tatsächlich anzuwenden. Die Auto-Industrie bejahte, daß sie die Kalifornischen Vorschriften erfüllen könne, und daß die entsprechenden Grenzwerte daher bundesweit eingeführt werden könnten. Diese sollten mit der Verfügbarkeit besserer Technologien entsprechend verschärft werden, ohne daß die Absenkungsstufen bereits zahlenmäßig festgeschrieben wurden.

Im Gegensatz zu den Schenck- und McDonough-Vorschlägen, die im Jahre 1959 bereits (wenn auch erfolglos) Grenzwerte verlangt hatten, die auf einem für die menschliche Gesundheit als unschädlich erkannten Niveau basierten, forderte das 1965er Gesetz derartige Standards nicht speziell. Beim Erlassen von Grenzwerten sollte der Minister lediglich "angemessen auf technologische Durchführbarkeit und Wirtschaftlichkeit" achten.

Außerdem sah der Schenck-Vorschlag eine Kontrolle aller Fahrzeuge vor, das 1965er Gesetz bezog sich jedoch nur auf die Herstellung neuer Fahrzeuge. Während der McDonough-Vorschlag (der sich ebenfalls auf neue Fahrzeuge bezogen hatte) die Erfüllung der Grenzwerte 1 Jahr nach Inkrafttreten der aufgrund von Gesundheitskriterien erlassenen Grenzwerte verlangte, sah das 1965er Gesetz vor, daß die Standards innerhalb eines Zeitraums gültig wurden, der "vernünftigerweise notwendig ist, damit die Industrie (diese Standards) erfüllen kann".

Damit hatte der "Motor Vehicle Air Pollution Control Act" von 1965 nach Meinung einiger Kongreßmitglieder das dringende und kritische Problem der Luftverschmutzung nur zögernd und schwach angepackt und sei nur ein bescheidener Schritt vorwärts gewesen. Aber dieser Schritt, so bescheiden er auch immer gewesen sein mag, war getan: Das 1965er Gesetz stellte erste Bemühungen des Kongresses bezüglich der Emissionsbegrenzung aus mobilen Quellen dar. Immer noch wurden jedoch technologische Entwicklungen von Regierungsseite oder durch freiwillige Anstrengungen der Industrie erwartet. Das Gesetz forderte nur die Anwendung dieser Technologien.

Es folgte der "Air Quality Act" von 1967 zu dem John T. Middleton nach Verabschiedung sagte, daß er "gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte von Regierung und Industrie finanzieren helfen und neue Technologien hervorbringen sollte". Forschung auf Bundesebene wurde also auch weiterhin als Grundlage und Stimulanz zur Lösung von technischen Problemen angesehen, aber ein Bericht des Senats warnte bereits, daß "Forschung nicht als Ersatz für Gesetzgebung" gedacht sei. Obwohl der Kongreß abermals zur Kenntnis nehmen mußte, daß die Benutzung von Abgasreinigungssystemen nicht freiwillig erfolgte, folgerte er daraus jedoch noch nicht, daß es erforderlich sei, den Verursachern der Luftverunreinigungen auch die notwendige Forschung zur Entwicklung von Abhilfemaßnahmen aufzuerlegen. Da der Bund die Forschung übernahm, sah man es als logisch an, den Verursacher von Emissionen lediglich zur Anwendung der gefundenen Verfahren zu zwingen, sobald sie verfügbar waren.

Diese Philosophie liegt sowohl dem 1965er als auch dem 1967er Gesetz zugrunde. Der für das 1967er Gesetz hauptsächlich Verantwortliche, Senator Muskie, erklärte seine Konzeption bezüglich Bundesaktivitäten auf dem Vorschriftengebiet über Schadstoffe von Automobilen damals wie folgt:

"Man nähme an, daß die Vorschriften in dem Maße verschärft wie technologische Fortschritte erreicht würden."

Während der 1967er Senats-Hearing sagte der DHEW-Sekretär, daß die betroffene Industrie "relativ wenig auf dem Gebiet von Forschung und Entwicklung in Richtung auf technologischen Fortschritt getan habe" und schlug behördlich zwei Wege zur Problemlösung vor:

- a) Beteiligung des Bundes an neuen Technologien zu Demonstrationszwecken und
- b) Aufstellen von bundesweiten Grenzwerten, die "einen Anreiz darstellen würden, Abgasreinigungstechnologien zu entwickeln".

Damit vertrat Gardner die Ansicht, daß Grenzwerte sich "technology-forcing" (d. h. eine bestimmte Technik erzwingend) auswirken könnten. Seine Gedanken konnten sich im Laufe der Hearings jedoch nicht durchsetzen. Gegen Ende dieses Hearings machte John T. Middleton die zuvor zitierte Aussage, die keinerlei Hinweise auf Gardner's Vorstellungen eines "technology-forcing" durch Grenzwerte enthielt. Middleton betonte, daß nach den Gedanken des DHEW selbst dann keine schärfere Kontrolle zur Luftreinhaltung angewendet werden könne, wenn gesundheitlich Auswirkungen dies eigentlich forderten.

Der vom Senat verabschiedete Gesetzesvorschlag beinhaltete schließlich nicht einmal mehr die Forderung nach bundeseinheitlichen Grenzwerten, da "man eventuell Standards erlassen hätte, die nicht erreichbar gewesen wären" (wie Senator John S. Cooper; Kentucky, Republikaner, sagte) und daher auch kein "technology-forcing" Potential gehabt hätten. Kontrollmaßnahmen sollten nach wie vor erst dann eingeführt werden, wenn sie "wirtschaftlich vertretbar und technologisch verfügbar" seien, wobei eine Hand-in-Hand-Vorgehensweise angeraten wurde: Jeweils bei Verfügbarkeit neuer Technologien sollten die Standards verschärft werden, bis die angestrebten "Air Quality Standards" erreicht seien.

Auch Senator Muskie vertrat noch die Meinung, daß Kontrollmethoden nur dann angewendet werden sollten, wenn sie "technologisch verfügbar" seien und wies darauf hin, daß der Präsident glaubte, die Technologie der Verschmutzungskontrolle habe ausreichende Fortschritte gemacht, um vernünftige "air quality standards" (Luftqualitätsstandards) erreichen zu können. Mit der Tendenz, daß Bundesforschung das einzige Mittel (außer freiwilligen Industrieanstrengungen) sei, neue Technologien zu entwickeln und der Autoindustrie die Chance zu geben, ihre Probleme selbst zu lösen (d. h. ohne feste Gesetzesforderungen oder strenge Auflagen) wurde das 1967er Gesetz verabschiedet.

Der schleppende "Fortschritt" bezüglich Luftreinhaltungsprogrammen sowohl auf Bun-

des- wie auch Einzelstaaten- und lokaler Ebene, beschäftigte jedoch bald in zunehmendem Maße den Senats-Unterausschuß für Luft- und Wasserverschmutzung, der daraufhin in den Jahren 1968 und 1969 Hearings abhielt, obwohl keine besonderen Gesetzesvorschläge anstanden. Während dieser Hearings gab Senator Muskie zu bedenken, ob "technologische und wirtschaftliche Machbarkeit allein die Schlüssel zum Erreichen einer gesundheitsunschädlichen Luftqualität" seien und sagte, daß es unter Umständen

"sogar nötig sein mag, unwirtschaftliche Politik durchzusetzen oder eine Industrie zu schließen, die die technologische Antwort zum gestellten Problem nicht hat".

Zwei Jahre nach dem 1967er Gesetz waren weder die Forschung nach neuen Technologien noch die Anwendung von Kontrollmaßnahmen so vorangekommen, wie es der Kongreß erwartet hatte, und ein weiteres Zitat aus den obengenannten Hearings veranschaulicht die sich daher immer weiter gegenüber der Automobilindustrie verhärtende Position von Senator Muskie, der folgerte:

"Es scheint uns nicht die aus Gesundheitsgründen erforderlichen Ergebnisse zu bringen, wenn wir uns einfach an das Urteil von irgendjemanden binden, der bestimmt, was wirtschaftlich und technologisch möglich ist."

Auch in Kalifornien trat 1969 eine gewisse Frustration wegen der schleppenden Weiterentwicklung der Technologie zutage, die sich in dem kuriosen Gesetzesvorschlag des Staats-Senats über ein generelles Verbot des Motors mit innerer Verbrennung für die nach 1975 gebauten Automobile ausdrückte. Das Kongreßmitglied Leonard Farbstein (New York, Demokrat) startete einen ähnlichen Vorschlag im Kongreß, der ein Verbot solcher Motoren ab 1978 vorsah, wenn diese bis dahin nicht strenge Abgasgrenzwerte erfüllen könnten.

Dieser Vorschlag war Anlaß zu interessanten Debatten: Man verglich die bis 1978 verbleibenden 9 Jahre mit dem Zeitraum der nötig war, einen Menschen auf den Mond zu befördern (1961 bis 1970), was schließlich auch gelungen sei. Als Fazit schlug man vor, daß die zum Erreichen des Ziels erforderliche Forschung der Automobilindustrie aufzubürden sei. Der Farbstein-Vorschlag wurde zum Teil unterstützt, da er ja "nicht unwiderruflich", und damit eine "praktikable Vorgehensweise" sei, und da sich "die Notwendigkeit oft als Mutter der Erfindung" bewährt habe. Der Vorschlag wurde jedoch schließlich abgelehnt.

Seit ihrer ersten Erwähnung im McDonough-Vorschlag von 1959 war damit zum ersten Mal der direkte Weg einer "technology-forcing" im Kongreß zur Abstimmung gelangt.

Sowohl in weiteren Senats- wie auch Haus-Hearings im Jahre 1969 kam zum Ausdruck, daß die Hand-in-Hand-Methode von Gesetzgebung und Entwicklung neuer Technologien nicht funktioniert hatte, und immer stärker wurden die Argumente, die ein "technology-forcing" für effektvoller hielten. In den Hearings des Haus-Unterausschusses für Öffentliche Gesundheit und Wohlfahrt ("Subcommittee on Public Health and Wel-

fare") vom Dezember 1969 wurde ein Fazit gezogen, wie sich die 1967er Vorschriften bewährt hatten: Die Antworten waren äußerst unbefriedigend.

#### 4.3.3 Die Wende im Jahre 1970: Behördlicher Zwang für den Verursacher, Emissionskontrolltechnologien selbst zu entwickeln und einzusetzen

Am 10. Februar 1970 veröffentlichte der Sekretär des DHEW eine Vorankündigung über ein Gesetz, das Abgasgrenzwerte für 1975er Automobile beinhaltete. Diese Standards waren fast identisch mit denen, die 1969 im Haus diskutiert wurden und die, wie Farbstein glaubte, den Motor mit innerer Verbrennung eliminieren würden, wenn sie für 1978 Anwendung fänden. Die in diesem Gesetz vorgesehene Festlegung eines Grenzwertes, ehe die dafür erforderliche Technologie verfügbar war, stellte eine Umkehr von der früheren Politik dar und hatte starke Auswirkungen auf spätere gesetzgeberische Entwicklungen.

In einem Gesetzesvorschlag ("S 3466" und "HR 15848") wurden bundeseinheitliche Luftqualitätskriterien gefordert, womit das Verfahren des 1967er Gesetzes ("jeder Staat für sich") ebenfalls verlassen wurde. Erstmals waren auch Geldstrafen bei Nichteinhaltung der Vorschriften genannt. Die Haus-Hearings zu dem zuvor genannten Vorschlag begannen im März 1970 und Stimmen, die ein "technology-forcing" befürworteten, mehrten sich. Trotzdem enthielt der schließlich angenommene Gesetzesvorschlag des Hauses lediglich die traditionellen Formulierungen von "technologischer Verfügbarkeit" wie sie schon das 1967er Gesetz als Grundlage hatte.

Zur gleichen Zeit wie im Haus begannen die Senats-Hearings, in denen Senator Muskie betonte, daß die Forschung auf Industrieseite nicht nur erhöht, sondern möglichst durch gesetzgeberische Zielvorgaben auch in bestimmte Richtungen gelenkt werden sollte. Auch neutrale Zeugen wandten sich gegen eine Politik, die sich an der "state of the art" (Stand der technologischen Möglichkeiten) orientierte, ohne Mittel zu suchen, diese "state of the art" voranzutreiben.

Anfang Juni hatten Mitglieder des Gesundheitsbereiches der NAPCA dem Senats-Unterausschuß eine Untersuchung darüber zugeleitet, welche Automobil-Abgasgrenzwerte erforderlich seien, um die Luftqualitätsstandards zu erreichen. Es wurde deutlich gemacht, daß sogar die "technology-forcing" 1975er NAPCA-Grenzwerte hierzu nicht ausreichen würden, sondern daß die ursprünglich für 1980 vorgeschlagenen Limits bereits früher erfüllt werden müßten. Dieses Statement benutzte besonders Senator Muskie, um die bemerkenswerte Abkehr von der bisherigen Politik zu rechtfertigen.

Am 19. August 1970 überreichte der Unterausschuß den neuen Gesetzesvorschlag an das Gesamtkomitee, und am 20.08.1970 hielt Senator Muskie eine Pressekonferenz über dieses so prinzipiell von den Vorschlägen, die noch vor 6 Monaten gemacht wurden, abweichende Papier. "Titel II" dieses Vorschlags wurde am meisten diskutiert, weil er die 1980er Auto-Standards auf 1975 vorzog. Aber auch "Titel I" ist nicht minder neu, da er ebenfalls Luftqualitäts-Standards nicht mehr an "technological feasibility" (technologische Machbarkeit) knüpfte.

Der Vorschlag des Ausschusses hatte zudem die Vorschrift, daß die Standards in "reasonable time" (angemessener Zeit) erreicht werden mußten, ausgelassen, die noch in den Unterausschußvorschlägen "S 3466" und "S 3546" in Fortsetzung der 1967er Vorschriften vorhanden waren. Statt dessen sollten die Luftqualitätsstandards "innerhalb von 3 Jahren nach deren Annahme", d. h. etwa 1975, erreicht werden. Aufschubmöglichkeiten von 1 Jahr unter ganz besonderen Bedingungen waren später möglich. Das Weglassen des "reasonable time"-Konzeptes hatte Betrachtungen über technologische und ökonomische Machbarkeit beim Erlassen von Vorschriften die Basis entzogen. Die deutlichste Änderung gegenüber 1967 war das Weglassen von Abschnitt 108 (c) (4), der besagte, daß ein Gericht bei Durchsetzung von Standards "angemessen die Praktikabilität sowie technologische und ökonomische Darstellbarkeit des geforderten Erfüllungsnachweises" berücksichtigen sollte.

Weiter wurde die 1967er Auflage, daß behördliche "Dokumente über empfohlene Reinigungssysteme" Voraussetzung für das Aufstellen einzelstaatlicher Luftreinhaltepläne seien, eliminiert.

Am Senats-Bericht vom 13.09.1970 machte der Gesamtausschuß seine Meinung zu "Titel II" klar:

Man erwartete vom EPA-Administrator, daß er Druck ausüben würde, damit neue Entwicklungen gemacht und verbesserte Technologien zur Anwendung kommen würden. Grenzwerte sollten eine Funktion der zum Schutz der öffentlichen Gesundheit erforderlichen, nicht jedoch der vorhandenen Technologien sein.

Bei der Angleichung von Haus- und Senatsvorschlag im Konferenz-Ausschuß wurde dem EPA-Administrator die Vollmacht zum Verlängern der Erfüllungsdaten unter bestimmten Bedingungen gewährt. Solche Möglichkeiten des Aufschubs waren (z. B. in den später im Detail behandelten "Hearings") bei Nachweis fortwährender größtmöglicher Anstrengungen vorgesehen. Technologische Nicht-Verfügbarkeit war jedenfalls kein Grund mehr, von Vorschriften oder Grenzwerten entlastet werden zu können, sondern höchstens noch - bei Nachweis größtmöglicher Anstrengungen - einen zeitlich begrenzten Aufschub zu erhalten.

Die Philosophie der schließlich am 31.12.1970 verabschiedeten "Clean Air Amendments" beinhaltete nicht nur das "technology-forcing"-Konzept durch die Festschreibung der "Statutory"- (oder auch "Muskie"-) Standards, zu deren Erfüllung damals noch keine Technologie vorhanden war. Tiefes Mißtrauen des Gesetzgebers gegenüber den Fahrzeug-Herstellern drückte sich auch in den Festlegungen/Forderungen aus, daß

- a) der Schutz der öffentlichen Gesundheit nicht länger Betrachtungen über wirtschaftliche oder technische Machbarkeit untergeordnet werden sollte, besonders wenn diese Faktoren von der Automobilindustrie kontrolliert werden {311}, und daß
- b) durch den Zwang zu laufender Berichterstattung der Autohersteller über den hausinternen Versuchs- und Entwicklungsstand an die EPA und die NAS ("National Academy of Sciences") mittels der sogenannten "Status Reports" die Automobilindustrie



nicht mehr der einzige Informant des Kongresses und der Öffentlichkeit zum Thema "Verfügbarkeit von Technologien" sein sollte {311}.

Senator Muskie faßte den Grundtenor der Gedanken des Gesetzgebers anlässlich der Diskussion um die 1970er "Clean Air Amendments" prägnant wie folgt zusammen:

"Detroit has told the nation that Americans cannot live without the automobile. This legislation would tell Detroit that if that is the case, they must make an automobile with which Americans could live" {312}.

#### 4.3.4 Grenzen und Lehren des "Technology-Forcing"

Wie in den vorigen Kapiteln gezeigt, war auf Seiten des Gesetzgebers die "technology-forcing"-Philosophie nur langsam und unter mehrmaliger Rückkehr zum früheren Prinzip des Nicht-Eingreifens in die Entwicklungsprogramme der Automobilindustrie entstanden. Der Rückblick in die Entstehungsgeschichte der amerikanischen Umweltschutz- und speziellen Emissionskontrollgesetzgebung läßt erkennen, daß die Automobilindustrie für diesen entscheidenden behördlichen Eingriff selbst verantwortlich gemacht wurde, wie folgendes Zitat verdeutlicht:

"The concept of economic feasibility had become an excuse for doing nothing and we agreed that the dangers to health from dirty air were sufficiently great that regulations should be based on the degree of control needed to protect the public health. The law, therefore, established the goal of protecting public health as the basis for regulatory policy" {313}.

Da man im 1970er Gesetz die "historischen Bremsklötze" der wirtschaftlichen und technologischen Machbarkeit schlagartig durch reine Ausrichtung der Emissionskontroll-Ziele an Schutzkriterien für die öffentliche Gesundheit ersetzt hatte, glaubte man, die einzig erfolgversprechende Marschrichtung für künftige Gesetzgebungen gefunden zu haben. In der Tat erzwangen die Grenzwerte der "Clean Air Amendments" von 1970 den Einsatz der Katalysator-Technologie, wodurch ein bis dahin unerreichbar niedriges Niveau der limitierten Schadstoffe an Fahrzeugen mit Otto-Motor realisiert werden konnte. Andererseits war es gerade dieser "Erfolg", der die Grenzen einer ungehemmten "technology-forcing"-Philosophie aufzeigte.

Als erstes Anzeichen dafür, daß man diese Grenzen nicht erkannt hatte, kann das Problem der an den (im HC und CO so hervorragenden) Katalysatorfahrzeugen beobachteten unerwarteten Sulfat-Emissionen angesehen werden, das in den Hearings vor dem "Committee on Public Works" des US-Senats am 5. und 06.11.1973 zusammen mit weiteren durch die Katalysatortechnologie ausgelösten gesundheitsschädlichen Feststoffemissionen (Platin, Palladium) ausgiebig diskutiert wurden {314}.

Im Oktober 1972 erkannte die Firma Ford erstmals das Problem der Sulfatmissionen (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und Partikeln) von Katalysatorfahrzeugen und informierte im Februar 1973 die EPA über diese Erkenntnisse {315}. Ford leitete damit hektische Aktivitäten auf Seiten des Gesetzgebers und der EPA ein, die umgehend ein neues Testverfahren mit auf-

wendiger Meßtechnik (Verdünnungstunnel, 6 m Länge/0,40 m Durchmesser) und einen neuen Fahrzyklus im "Federal Register" vorschlug. Man wollte sich nicht dem Vorwurf seitens Wissenschaft und Öffentlichkeit aussetzen, bei den "Clean Air Amendments" von 1970 einen Fehler gemacht und durch Erzwingung eines technischen Konzeptes aufgrund gesetzlicher Vorschriften ein größeres Gesundheitsrisiko heraufbeschworen zu haben als es zuvor bestanden hatte.

Das Problem der Sulfat- wie auch Platin- und Palladium-Emissionen, das sich schließlich als nicht so gravierend, wie anfänglich vermutet, erwies (der obengenannte "Federal Register"-Vorschlag brauchte nicht Gesetz zu werden), bildete jedoch einen Meilenstein in der Entwicklung der Philosophie amerikanischer Emissionskontrollgesetzgebung. Es hatte das Augenmerk auf den Gesamtkomplex der vorhandenen und durch neue (auch gesetzlich erzwungene) Technologien eventuell zusätzlich verursachten Emissionen gelenkt und damit die sogenannten "unregulated pollutants" (d. h. die noch nicht gesetzlich begrenzten Schadstoffe) als entscheidenden Gesichtspunkt für künftige Gesetzgebungen beleuchtet.

In diesem Zusammenhang geriet die nach der neuen (1970er) Philosophie gerade erst erzwungene Katalysatortechnologie im Jahre 1976 erneut in den Blickpunkt kritischer Betrachtungen als bekannt wurde, daß Katalysatoren in Verbindung mit dem Emissionskontrollkonzept der Lufteinblasung zur Blausäurebildung (HCN) führen konnten. Wiederum mußte der Gesetzgeber befürchten, daß mit der neuen Technologie mehr Schaden als Nutzen angerichtet wurde und ließ sicherheitshalber die bereits nach den gültigen HC-, CO- und NO<sub>x</sub>-Grenzwerten zertifizierten Fahrzeuge für Modelljahr 1977 (mit Katalysator und Lufteinblasung) im EPA-Forschungszentrum "Triangle Park" in North Carolina nachtesten. Hätten sich die HCN-Emissionen, an deren Entstehungsmöglichkeit weder von der Industrie noch von der EPA gedacht worden war, als bedeutend erwiesen, wäre der (gesetzlich erzwungene) technologische Durchbruch ein Rückschlag gewesen: Die durch Verwendung von Oxidations-Katalysatoren im HC und CO hervorragenden Fahrzeuge hätten keine Verkaufszulassung erhalten!

Die Grenzen einer "technology-forcing"-Philosophie wurden weiterhin besonders deutlich im Falle des Pkw-Diesel-Motors. Bei strikter Anwendung der 1970er Vorschriften hätte sie - selbst bei Realisierung der im Gesetz unter bestimmten Bedingungen vorgesehenen Möglichkeit zu einjähriger Fristverlängerung das "Aus" für eine der - gemessen an den 1970er Kriterien für HC und CO - umweltfreundlichsten (und zugleich wirtschaftlichsten) Antriebsarten bedeutet.

Da im Jahre 1972 nur etwa 0,06 % der gesamten US-Pkw-Population mit Diesel-Motoren ausgestattet waren, hatte man dieses Konzept bei der Festlegung der 1970er Emissionsziele praktisch vergessen. Erst als auch dem US-Gesetzgeber klar wurde, daß der Pkw mit Diesel-Motor ein hervorragendes Emissionspotential und eine überlegene Wirtschaftlichkeit besaß, interessierte man sich näher für diese Technologie. In Hearings in den Jahren 1972 und 1973 {291, 316 bis 319} wurde als Spezialfall die Daimler-Benz AG aufgefordert, über die Möglichkeiten des Diesel-Motors auszusagen,

der als serienmäßig produziertes Konzept ohne teure Zusatzeinrichtungen bereits die "Statutory"- oder "Muskie"-Standards im HC und CO erfüllte, der jedoch mangels Aufnahmefähigkeiten im US-Markt ("Mercedes-Benz of North America" hatte von 1965 bis 1972 mehr als 3,4 Millionen US-\$ für die spezielle Diesel-Pkw Werbung aufgewendet, im gleichen Zeitraum jedoch nur 53.331 Pkw mit Diesel-Motor verkaufen können) {294} bisher nicht in größeren Stückzahlen eingesetzt wurde, und für den das "technology-forcing"-Konzept wegen seiner inhärenten Probleme bei der Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen unter ein bestimmtes Niveau zum "technology-eliminating" zu werden drohte.

#### 4.3.5 Die neue Philosophie ab 1977: Forderung zur Beweisführung der Gesundheits- unschädlichkeit der eingesetzten Technologien sowie zur Übernahme fachlicher und moralischer Verantwortung durch den Verursacher

Als ein neues, umfassendes Konzept großer Tragweite können die 1977er Erweiterungen zum Clean Air Act angesehen werden. Die Details dieser Vorschriften sind bereits in Kap. 3.2.12 beschrieben, und die den bisherigen "Clean Air Act" erweiternden Umfänge wurden in den Bildern II.3-4 und II.3-5 zusammengefaßt. An dieser Stelle sei daher nur die hinter dem neuen Gesetz stehende Gedankenwelt des Gesetzgebers herausgearbeitet, was am besten anhand von Ausführungen des neuen "Assistant Administrator" der US-EPA, David G. Hawkins (Nachfolger von Eric O. Stork, der viele Jahre lang dieses Amt innehatte und sowohl die Organisation wie auch die Denkungs- und Handlungsweise der EPA bis zu den 1977er "Clean Air Act Amendments" entscheidend geprägt hatte) vor dem "Automotive News World Congress" im August 1978 {320} geschehen soll. Den Umfang und die Auswirkungen der hinter dem 77er Gesetz stehenden neuen Gedanken der EPA charakterisiert Hawkins einleitend markant mit dem Statement:

"Our jobs are far from over. Indeed, the really difficult part of the job is before us."

Hawkins betont bezüglich der Emissionen von Fahrzeugen - als neue Philosophie der EPA -:

"... the clear and dramatic shift of the burden from EPA to the industry in the area of hazardous unregulated pollutants"

und begegnet industrieseitigen Beschwerden über zu viele und sich laufend ändernde Gesetze mit der Feststellung:

"The amount of rule-making that EPA does and the number of changes we make to those rules are in fact determined by the industry. The rules have changed, and will continue to change in the future, so long as manufacturers narrowly define their job as bare compliance with the letter of law, beating the rules whenever possible in disregard for the spirit and goals of the requirements."

Bezüglich der im 77er Gesetz ebenfalls festgelegten Forderungen nach Standard-Erfüllung auch im praktischen Fahrzeugeinsatz führt Hawkins aus:

"The primary responsibility for assuring that these vehicles comply with the standards is the manufacturers'. The manu-

facturers must immediately face up to the fact that they have defined their job too narrowly and have shirked their responsibilities with regard to in-use compliance. They have focused only the very specific requirements of EPA's certification program and the risk of a production audit, rather than on their broad responsibility to refrain from marketing products which will not meet the laws' requirements in use."

Zum Teil ausgelöst durch das zuvor in Kap. 4.3.4 beschriebene Problem der Sulfat-Emissionen bei der Einführung der Katalysator-Technologie forderten die 1977er Ergänzungen des "Clean Air Act" von jedem Automobilhersteller den Beweis, daß die Emissionskontrollsysteme seiner Fahrzeuge kein unzumutbares Risiko für die öffentliche Gesundheit und Sicherheit darstellen {321, 322}. Dieser neue Gedanke stellt eine bedeutende Zusatzforderung zu den bestehenden Auflagen über Grenzwertbefreiung dar.

Damit charakterisiert nicht mehr die "technology-forcing", sondern die Forderung nach Beweisführung über die Ungefährlichkeit der gewählten oder erzwungenen Technologie vom August 1977 an die Philosophie der weiteren Emissionskontrollgesetzgebung des Kongresses. Bei dieser Beweisführung wurde es sogar nicht als ausreichend angesehen, lediglich die verschiedenen noch nicht gesetzlich begrenzten Substanzen im Abgas zu bestimmen und ihre Größenordnung zu erfassen, sondern es sollten Gesundheitsstudien mit denjenigen Komponenten durchgeführt werden, bei denen ein Gefährdungspotential der menschlichen Gesundheit vermutet wird {323}.

In ganz besonderem Maße zielte die neue Philosophie auf die Diesel-Technologie ab, die seit der Energiekrise im November 1973 und dem Aufschub der "Statutory Standards" einen immer bedeutenderen Anteil an der US-Fahrzeugpopulation einnahm. Diese Erhöhung der Anteile von Fahrzeugen mit Diesel-Motoren ("Verdieselung") beträgt zum Erfüllen der Flottenverbrauchsvorschriften im Jahre 1980 bereits etwa 25 %, und einige Hersteller werden durch die Verbrauchslimitierung gezwungen sein, zum überwiegenden Anteil Diesel-Fahrzeuge zu verkaufen. Dieses ungeahnte Ausmaß des Einsatzes einer für den US-Markt im wesentlichen neuen Technologie beunruhigte den Gesetzgeber, und da man den Fehler von 1970 nicht wiederholen wollte, legte man als Vorbedingung für künftige Zertifikationen den Nachweis der Unschädlichkeit speziell des dieselmotorischen Abgases fest.

In Parallelität zur chemischen Industrie, die mit neuen Substanzen ausgedehnte Mutagenitäts- (d. h. Zellveränderungs-) Tests durchführen und - wenn diese Tests positiv verlaufen - umfangreiche Tierversuche zur Bestimmung einer möglichen Gefahr von Krebsauslösung anschließen muß, sollte auch die Automobilindustrie künftig Versuche mit mutagenen Substanzen des Motorabgases an lebenden Tieren durchführen.

Die Überlegungen der EPA unterschieden hierbei zwischen der (nicht als den Sinn des Gesetzes erfüllend angesehenen) "defensive research" und einer (für erforderlich erachteten) "good faith research" wie das abschließend gewählte Zitat aus der oben genannten Hawkins-Präsentation veranschaulicht:

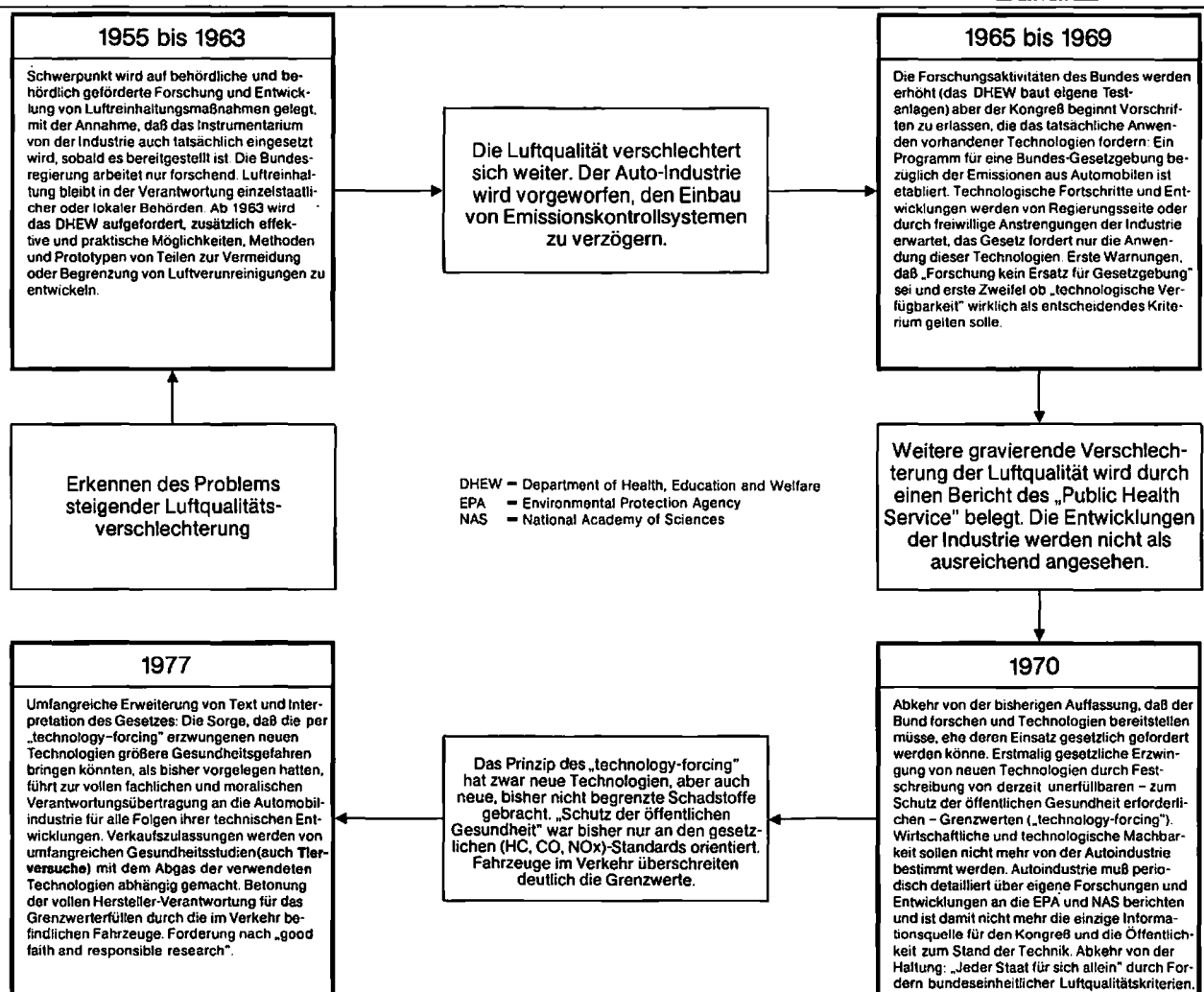
"It is important that automakers realize that a program of defensive research, as opposed to a program designed in good faith to identify and assess hazards, will not serve them or the public and will not be acceptable. I urge executives in the industry to assure that their companies are responsible approaching the problems presented by potential risks from unregulated pollutants rather than merely defending corporate plans and investments" {320}.

Als Haupterwartung der EPA gegenüber der Industrie bei der Lösung künftiger Probleme und Erfüllung kommender Gesetze formuliert Hawkins die Übernahme von fachlicher und moralischer Verantwortung:

"With proper motivation and direction, the automotive industry design teams will approach their tasks with a sense of responsibility to respond to the basic intent of environmental laws and regulations. This motivation must be provided by those at the policy and senior management levels in each company."

"The issue here is once again responsibility. The industry must take the steps necessary to assess the reasonably foreseeable impacts of its products on the environment, particularly the urban environment. This goes well beyond complying with the letter of today's laws and regulations" {320}.

Mit diesen Gedanken sei die Betrachtung der Entwicklungsgeschichte der Philosophie amerikanischer Emissionskontroll-Gesetzgebung, die anhand der in Bild II.4-1 noch



**Bild II.4-1:** Ursachen und Meilensteine bei der Entwicklung der Philosophie amerikanischer Emissionskontroll-Gesetzgebung für Automobile.

einmal zusammengefaßten Meilensteine verfolgt wurde, abgeschlossen. Die Auswirkungen der aufgrund von Energiekrise, Rezession und automobilbezogener Handelsbilanz ab 1980 immer stärker in den Vordergrund der Diskussion rückenden "de-regulation" (Verschriftenabbau) zur Entlastung der gefährdeten US-Autoindustrie auf künftige Emissionskontrollgesetze sowie auf Produktion und Verkauf von Pkw mit Otto- und Dieselmotoren können zur Zeit noch nicht abgeschätzt werden.

## 5. Der "Consent Decree"

Der "Consent Decree" von 1969 stellt den Abschluß einer Kontroverse zwischen Gesetzgeber und Automobilindustrie im Zusammenhang mit einer vermuteten Verzögerung bei der Einführung von (als verfügbar angesehenen) Emissionskontrolltechnologien dar.

Da diese Auseinandersetzungen zu bedeutenden Konsequenzen führten, sollten sie als ein Meilenstein in der Geschichte des Zusammenspiels zwischen Gesetzgeber und Automobilindustrie nicht unbeachtet bleiben. Das gemäß dem Thema dieser Arbeit zu erstellende Bild über den von diesen beiden Akteuren erbrachten Aufwand zur Senkung der Umweltbelastung durch Emissionen aus Kraftfahrzeugen, wäre unvollständig beschrieben, würden die anlässlich der genannten Vorgänge zutage getretenen prinzipiell unterschiedlichen Auffassungen beider Seiten nicht mitbehandelt werden.

Es sei daher nachfolgend versucht, anhand einer möglichst objektiven Faktendarstellung das Verständnis dieser Ereignisse und ihre Auswirkungen auf die in dieser Arbeit angesprochenen behördlichen und industrieseitigen Aktivitäten und Verhaltensweisen bis in die heutige Zeit hinein zu erleichtern.

### 5.1 Hintergrund

Am 2. Juli 1890 wurde durch den Kongreß das Gesetz: "An Act to Protect Trade and Commerce Against Unlawful Restraints and Monopolies" bekannt als der "Sherman Antitrust Act" geschaffen. Dieses Antitrust-Gesetz wird als Charta für wirtschaftliche Freiheit angesehen, deren Ziel es ist, freien uneingeschränkten Wettbewerb zu erhalten.

Der US-Automobilindustrie wurde 1969 vorgeworfen, seit 1953 gegen Section 1 des obengenannten Gesetzes verstoßen zu haben, indem sie durch Absprachen untereinander interstaatlichen Handel und Warenverkehr (innerhalb der USA) von und mit Emissionskontrollsystemen (einzeln oder am Fahrzeug angebaut) behinderte.

Die offizielle Anklage wurde am 10.01.1969 durch die Antitrust-Abteilung des "Department of Justice" erhoben, einer Abteilung, die alle behördlichen Antitrust-Aktionen gegen Industriezweige der USA durchführt {324}. Die Aktionen der US-Autohersteller, die zu dieser Anklage geführt hatten, sind auch heute noch nicht in allen Details öffentlich bekannt, so daß über den Vorgang allgemein nur recht verschwommene Kenntnisse vorliegen.

## 5.2 Die Anklage

In der Anklageschrift des "Department of Justice" {324} vom 10.01.1969 sowie in einer entsprechenden Presseveröffentlichung {325} werden die der Automobilindustrie vorgeworfenen Absprachen über Behinderung des freien Warenverkehrs und Handels mit Emissionskontrollsystemen (einzeln oder am Fahrzeug angebaut) derart präzisiert, daß es sich um dauernde Übereinkünfte, Absprachen und gemeinsame Aktionen handelte, deren Hauptpunkte folgende waren:

- jeglichen Wettbewerb untereinander auf den Gebieten Forschung, Entwicklung, Herstellung und Einbau von Emissionskontrollsystemen für Kraftfahrzeuge auszuschalten, und
- Wettbewerb beim Kauf von Patenten oder Patentrechten bezüglich Emissionskontrollsystemen für Kraftfahrzeuge von Nicht-Autoherstellern zu eliminieren.

Bei der praktischen Realisierung dieser Absprachen hätten die US-Autohersteller die in Bild II.5-1 zusammengefaßten Vereinbarungen getroffen.

**In der Anklageschrift des „Department of Justice“ vom 10. 1. 1969 wurden der US-Automobilindustrie folgende Handlungen vorgeworfen, die als Absprachen zur Behinderung des freien Warenverkehrs und Handels (hier mit Emissionskontrollsystemen) als Verstoß gegen den „Sherman Anti-Trust Act“ vom 2. 7. 1890 gewertet wurden:**

Vereinbarung, daß alle industrieseitigen Anstrengungen bezüglich Forschung, Entwicklung, Herstellung und Einbau von Emissionskontrollsystemen auf der Basis des Nicht-Wettbewerbs stattfinden sollten

Vereinbarung, daß die Auswertung von Patenten oder Patentrechten, die den Auto-Herstellern von Personen angeboten wurden, die nicht Unterzeichner des „cross licensing agreements“ vom 1. Juli 1955 waren, nur gemeinsam erfolgen sollte mit der Forderung, daß eine „most-favored-purchaser“ Behandlung aller Mitglieder dieses Abkommens zu erfolgen habe, falls irgendein Mitglied durch eine nicht dem Abkommen beigetretene Person lizenziert worden war

Öffentlichkeitsarbeit hinsichtlich Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen bezüglich des Emissionsproblems bei Automobilen zu begrenzen

Vereinbarung, daß Emissionskontrollsysteme nur zu einem gemeinsam abgesprochenen Termin (in die verkauften Fahrzeuge) eingebaut werden sollten

**Die letztgenannte Vereinbarung habe in mindestens den 3 nachstehend genannten Fällen zu dem Versuch einer Verzögerung des Einbaus von Emissionskontrollsystemen geführt:**

- Im Jahre 1961 hätten die US-Automobilhersteller vereinbart, den Einbau des PCV-Ventils in Fahrzeuge, die außerhalb Kaliforniens verkauft werden sollten, bis zum Modelljahr 1963 zu verzögern, obwohl dieses Teil (zur Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse) bundesweit bereits ab Modelljahr 1962 hätte eingebaut werden können, und obwohl einige Automobilhersteller sich bereit gezeigt hatten, diese Maßnahme durchzuführen, als es noch keine diesbezügliche industrieweite ablehnende Vereinbarung gab.
- Ende 1962 und Anfang 1963 hätten die US-Automobilhersteller vereinbart, eine Verbesserung des oben genannten Systems nicht einzuführen, von der das CMVPCB angekündigt hatte, daß es sie gesetzlich fordern würde („ventilation tube to air cleaner“)
- Anfang 1964 hätten die US-Automobilhersteller vereinbart zu versuchen, die Einführung neuer Emissionskontrollsysteme für „Kalifornien-Fahrzeuge“ bis zum Modelljahr 1967 zu verzögern. Obwohl alle in der Lage waren, diese Systeme schon im Modelljahr 1966 einzusetzen, hätte man sich geeinigt, den kalifornischen Behörden mitzuteilen, daß der Einbau der Emissionskontrollsysteme vor Modelljahr 1967 technisch nicht möglich sei. Nur durch gesetzgeberischen Zwang, der durch konkurrierende Teile-Hersteller außerhalb der Automobilindustrie ermöglicht wurde, hätten sie diese Emissionskontrollsysteme schon im Modelljahr 1966 eingebaut.

**Bild II.5-1:** Anklagepunkte im Anti-Trust-Verfahren von 1969 gegen die Mitglieder der AMA („Automobile Manufacturers Association“) betreffend willentlich verzögerter Einführung von Emissionskontroll-Technologien, das mit dem „Consent Decree“ vom 29. 10. 1969 beigelegt wurde, nach [324].

### 5.3 Die Einigung

Ohne Verhandlung wurde, wie in Antitrust-Fällen oft üblich, am 29.10.1969 eine Einigung zwischen der US-Autoindustrie und dem "Department of Justice" per "Consent Decree" (der Vorschlag zu dieser Einigung kam am 11.09.1969 vom "Department of Justice") beschlossen {326}. Dieses als außergerichtliches Übereinkommen zu verstehende Abschlußurteil der Justizbehörde beinhaltet keinerlei Schuldanerkenntnis der Autohersteller, die im Gegenteil alle in Bild II.5-1 genannten Anklagepunkte zurückgewiesen hatten. Der "Consent Decree" ist daher lediglich eine Vereinbarung mit den Behörden, Aktivitäten zu begrenzen oder zu verändern, denen die Behörden wettbewerbsverhindernden Charakter zumessen könnten.

Gemäß abschließender Vereinbarung {326} wurden den US-Autoherstellern künftig die in Bild II.5-2 zusammengefaßten Aktivitäten untersagt. Die Beendigung des Verfahrens per "Consent Decree" wurde der Öffentlichkeit mitgeteilt {327}. Einsprüche und Meinungen konnten nach Ablauf von 30 Tagen in einem öffentlichen Hearing vorgebracht werden. Alle Einsprüche gegen den "Consent Decree" wurden jedoch als unbegründet zurückgewiesen {328}.

**Mit dem „Consent Decree“ vom 29. 10. 1969 zwischen dem „Department of Justice“ und den Mitgliedern der AMA („Automobile Manufacturers Association“), der eine außergerichtliche Einigung in Sachen Klage wegen Verstoßes gegen den „Sherman Anti-Trust Act“ vom 2. 7. 1890 bedeutete, wurde den US-Autoherstellern künftig untersagt:**

sich zusammenzuschließen oder abzusprechen, um Entwicklung, Herstellung, Einbau, Verteilung oder Verkauf von Emissionskontrollsystemen zu verhindern oder zu erschweren.

keine Vereinbarung untereinander oder mit irgendeinem Hersteller von Automobilen und Emissionskontrollsystemen einzugehen, beizubehalten oder durchzusetzen, die folgenden Zwecken dient:

- Austausch vertraulicher Informationen, gegenseitige Lizenzerteilung („cross-licensing“) über Emissionskontrollsysteme
- Verzögerung des Einbaus von Emissionskontrollsystemen oder Behinderung von individuellen Entscheidungen einzelner Autohersteller bezüglich dieser Einbauzeitpunkte
- Einschränkung von Öffentlichkeitsarbeit über Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Emissionskontrollsysteme
- Gemeinsame Auswertung von Patentangeboten Dritter
- Verbinden einer Patentannahme mit der Bedingung, daß dieses Patent zu gleichen Konditionen auch anderen Auto-Herstellern zur Verfügung gestellt wird („most favored purchaser“)
- Einreichen irgendeiner gemeinsamen Stellungnahme an irgendeine mit der Veröffentlichung von Emissionsgrenzwerten für neue Kraftfahrzeuge oder Sicherheitsstandards befähigte Behörde, es sei denn, diese Behörde stimmt einer gemeinsamen Stellungnahme zu, die Stellungnahme betrifft den Formalismus oder die wissenschaftliche Notwendigkeit für Standards, Testverfahren oder Testdaten im Zusammenhang mit diesen Standards oder allgemeine technische Forderungen und Standards, die auf öffentlich zugänglichen Informationen basieren. Bei letzteren Möglichkeiten dürfen im gemeinsamen Statement jedoch keine Angabe über die Fähigkeit eines oder mehrerer Verfasser enthalten sein, bestimmte Standards oder Vorschriften generell oder zu einem genannten Zeitpunkt erfüllen zu können.
- Nicht-Einreichen von individuellen Aussagen an irgendeine mit der Veröffentlichung von Emissionsgrenzwerten für neue Kraftfahrzeuge oder Sicherheitsvorschriften befähigte Behörde.

Jeder der angeklagten Automobilhersteller soll innerhalb von 120 Tagen (nach dem 29. 10. 1969) von seinem Recht zum Rücktritt vom „cross licensing agreement“ vom 1. Juli 1955 Gebrauch machen.

Die AMA soll ihre Verantwortung gemäß dem „cross licensing agreement“ innerhalb von 60 Tagen (nach dem 29. 10. 1969) aufgeben.

Die AMA soll alle seit dem 1. 10. 1967 gemäß dem „cross licensing agreement“ vom 1. 7. 1955 in ihren Besitz gelangten technischen Berichte, die von Unterzeichnern dieses Agreements ausgearbeitet oder ausgetauscht wurden, für jedermann zur Verfügung stellen (wobei Patente durch Zusatzklauseln geschützt werden sollten) <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Unter diesen namentlich spezifizierten Berichten befinden sich auch die 3 folgenden von der Daimler-Benz AG ausgearbeiteten oder eingereichten Reports:

- „Response the HEV 1970 Standards“ vom 4. 1. 1968, eingereicht am 13. 3. 1968
- „Determination of CO<sub>2</sub> at Wahnsdorf, Germany“, eingereicht am 1. 7. 1968
- „Comparison of 3 dynamometers in Germany“, eingereicht am 1. 7. 1969

**Bild II.5-2:** Auflagen für die Mitglieder der AMA („Automobile Manufacturers Association“) im begleitenden Urteil des „Department of Justice“ zum „Consent Decree“ vom 29. 10. 1969, nach [326].



#### 5.4 Ansichten zum "Consent Decree"

Allgemein darf zunächst wohl festgehalten werden, daß die US-Justizbehörde die eigene Automobilindustrie nur ungern mit Antitrust-Klagen bedrängen wird, da dieser Industriezweig von hoher Bedeutung für die gesamte US-Wirtschaft ist. Außerdem hat das Argument, daß eine schnelle Lösung des Problems eher im öffentlichen Interesse sein müßte, als ein langjähriger Streit über berechnete oder unberechnete Anklagepunkte Gewicht: Der Automobilindustrie war deutlich geworden, daß Fortschritte auf dem Gebiet der Emissionskontrolle erzielt werden mußten, und die Arbeiten hierzu sofort zu beginnen hatten.

Gemäß öffentlicher Informationen {327} hatten das kalifornische ARB und das DHEW des Bundes Befriedigung über den "Consent Decree" ausgedrückt. Der "Consent Decree" forderte, so wird konstatiert, schnelleres Einsetzen aggressiven Wettbewerbs auf dem Emissionskontrollsektor und diene damit eher der öffentlichen Gesundheit als ein zeitaufwendiger Rechtsstreit, während dessen die als "abzustellen" erachteten Aktivitäten der Autohersteller unter Umständen fortbestanden hätten.

Der "Attorney General" (John N. Mitchell) sagte, daß sich die Entscheidung per "Consent Decree" in Übereinstimmung mit dem massiven Anti-Smog-Programm befände, das kurz zuvor von Lee A. Du Bridge, dem Wissenschaftsberater von Präsident Nixon, anlässlich eines Treffens des "President's Environmental Quality Council" angekündigt worden war. Du Bridge hatte weiter ausgeführt: "Ich glaube, daß die schnelle Lösung dieses Falles (die innerhalb von 8 Monaten erzielt wurde, Anm. d. Verf.) konkurrierende Forschung und Entwicklung bezüglich Konstruktion und Einbau von Emissionskontrollsystemen fördern wird, und daß sie einen wichtigen Schritt im Kampf gegen die Luftverunreinigung bedeutet" {327}.

Es dürfen in diesem Zusammenhang jedoch nicht nur diese öffentlichen Stellungnahmen zu der getroffenen Regelung zitiert werden, da auch ganz andere Auffassungen - wenn auch nur behördenintern - zur Sprache kamen. Sie erst charakterisieren die Problematik der Vorgänge um den "Consent Decree" vollständig.

So wurde bereits bei Bekanntwerden der Pläne des "Department of Justice" Anfang September 1969 Protest gegen die Absicht, das Verfahren gegen die Automobilindustrie per "Consent Decree" zu beenden, eingelegt {329}. Diese Vorgehensweise würde "die amerikanischen Bürger um ihr Recht betrügen, alle Fakten über einen der gesündesten amerikanischen Industriezweige zu erfahren" {329}. Ebenso seien dadurch "enorme Hindernisse für die vielen Schadensklagen durch Städte und Einzelstaaten aufgebaut und die Antitrust-Gesetze unterminiert worden" {329}. Die Zustimmung zu einem "Consent Decree" wurde als "Anti-Verbraucher-Manöver des "Department of Justice" bezeichnet, das "eine grobe Mißachtung der Gesundheit von Millionen von Amerikanern, die unter den schädlichen Auswirkungen der Luftverunreinigungen (die zu 50 % vom Automobil stammen) leiden, darstellte" {329}.

Eine gewisse Berechtigung bekommen derartige Attacken gegen den "Consent Decree",

„We are convinced that we have shown the grand jury and are in possession of evidence to prove beyond a reasonable doubt the existence of an industry-wide agreement and conspiracy among the auto manufacturers, through AMA not to compete in the research, development, manufacture and installation of motor vehicle air pollution control devices for the purpose of achieving interminable delays, or at least delays for as long as possible.

In Mr. Turner's language, contained in his Supplemental Memorandum for the Attorney General, dated May 12, 1966: „If the grand jury investigation discloses an absence of justification for the agreement not to compete, as seems quite likely, the agreement would be so plainly unlawful as to warrant a criminal proceeding." It is respectfully submitted that the grand jury investigation clearly disclosed such an agreement and absence of justification. Throughout the entire conspiracy, the participants were cognizant of the antitrust implications of their activities. Despite this fact the conspiracy was carried on for economic reasons. The health and welfare of the community were disregarded. In these circumstances, criminal prosecution is clearly indicated."

**Bild II.5-3:** Aussagen eines internen Dokuments des „Department of Justice" zur Frage der Existenz von unzulässigen Absprachen innerhalb der Automobilindustrie auf dem Gebiet der Emissionskontrolle an PKW im Jahre 1969, [329].

wenn man zwei in {329} zitierte interne Dokumente des "Department of Justice" betrachtet, die die in Bild II.5-3 wiedergegebenen Aussagen machen.

### 5.5 Folgen des "Consent Decree"

Am 16.12.1969 löste die AMA das "Vehicle Combustion Products Committee" und die "Emission Panels" auf, deren Aktivitäten (innerhalb eines Gemeinschaftsprogramms, das 1953 durch die AMA auf Ersuchen der Behörden von Los Angeles mit dem Ziel in Angriff genommen wurde, eine Lösung für das Los Angeles Smog-Problem zu finden) Anlaß zur obengenannten Klage gegeben hatten{330}.

Ein neues Komitee, das "Air Quality Committee" wurde gegründet, um jeden künftigen (begrenzten) Informationsaustausch inner-

halb der AMA und die Ausarbeitung von AMA-Stellungnahmen zu überwachen. Darüber hinaus realisierten die AMA und die Automobilhersteller die im "Consent Decree" vorgeschriebenen und in Bild II.5-2 zusammengefaßten Auflagen {330}.

### 5.6 Auswirkungen der 1969er Klage des "Department of Justice" gegen die AMA

Es ist eine Grundlage in der US-Rechtssprechung, daß nur ein *Teilnehmer* einer Vereinbarung - wie z. B. dem "Consent Decree" - an die dort festgelegten Abmachungen gebunden ist. Der "Consent Decree" schloß damit nicht aus, daß andere Personen die gleichen Angeklagten mit prinzipiell den gleichen Fakten verklagen konnten, wie es zuvor das "Department of Justice" getan hatte. Daher reichten Einzelstaaten, Zulieferer, Städte und Einzelpersonen nach dem "Consent Decree" (d. h. ab Ende 1969) erneut Klagen besonders gegen die AMA und die 4 großen US-Automobilhersteller ein. Diese seitens Illinois, New Mexico, New Jersey, Connecticut, Wisconsin, California, New York und anderen erhobene Sammelklage wurde im sogenannten "Multi-District Litigation"-Verfahren behandelt. Der Streitwert der Klage auf Ersatz der durch verzögerte Einführung von Emissionskontrollmaßnahmen eingetretenen Schäden belief sich auf 400 Millionen \$. Man wollte erreichen, daß alle Fahrzeuge, die ab 1960 gebaut worden waren, nachträglich mit Emissionskontrollsystemen zu Lasten der Automobilhersteller ausgerüstet würden.

Offiziell erfolgte die Ablehnung der eingereichten rund 34 Antitrust-Klagen, die auf die Ausgangsanschuldigungen des 1969er "Consent Decree" zurückgriffen (absichtlich verzögerter Einbau von Emissionskontrollsystemen, dadurch Schadensverursachung an der Umwelt) mit der Begründung, daß "eine Absprache, zur Verschlechterung der Luftqualität beizutragen, zwar ungesetzlich sein mag, daß sie aber nicht von den

Antitrust-Gesetzen, die lediglich eine Behinderung des Handels vermeiden und Wettbewerbsbedingungen auf dem Markt schaffen oder wiederherstellen sollen, abgedeckt wird" {331}. Eine detaillierte Interpretation der Antitrust-Gesetze und Erläuterung der obengenannten Ablehnung findet sich in der Entscheidung von Richter Real vom 17.12.1973 {332}.

Nach Meinung des Gerichts wurden zwar durch die aus dem Automobil stammenden Schadstoffemissionen öffentliche Belästigungen geschaffen und auch fortgesetzt, diese Belästigungen und eventuelle Schädigungen seien aber nicht das Resultat von Absprachen oder Vereinbarungen zur Beschränkung des Handels gewesen. Im Gegenteil habe gerade der Wettbewerb, der freie Handel und die enorme Benutzung des Luftverunreinigungen verursachenden Automobils zu den obengenannten nachteiligen Folgen für Millionen von Amerikanern geführt {333}.

#### 5.7 Zehn Jahre später: Das Ende des "Consent Decree"?

Im Oktober 1979 wäre die Gültigkeit der Vorschriften des "Consent Decree" abgelaufen. Die Bundesbehörde beantragte daher am 30.03. und 24.04.1979 eine 10jährige Verlängerung des für die MVMA ("Motor Vehicle Manufactureres Association of the United States"), General Motors (GM), Ford, Chrysler und die American Motors Corporation (AMC) ausgesprochenen Verbotes, "restricted information" (d. h. vertrauliche Entwicklungsinformationen) auszutauschen {334}. In der Antragsbegründung wurde angeführt, daß sich die 1969er Bedingungen bis heute nicht geändert hätten: Das Problem der Luftverschmutzung sei immer noch ungelöst, die Regierung versuche nach wie vor herausfordernde (jedoch auch erreichbare) Emissionsgrenzwerte zu verabschieden, die Fortschritte der Automobilhersteller seien zwar unverkennbar, man sei aber industrieseitig noch weit von der endgültigen Lösung der gestellten Aufgaben entfernt, die Auflagen des "Consent Decree" hätten zu keinem bedeutenden Verlust für die Autohersteller geführt, und eine Verlängerung der Gültigkeit der darin enthaltenen Verbote sei im öffentlichen Interesse und auch notwendig, um ihr ursprüngliches Ziel (d. h. unbeeinflusste Konkurrenz zum Wohle schnellstmöglichen technologischen Fortschritts) zu erreichen.

Die betroffenen Autohersteller stellten diese Ausführungen und die Verlängerung der "Consent Decree"-Vorschriften in Frage und verwiesen auf eine grundlegend veränderte wirtschaftliche Situation, die den "Consent Decree" nicht mehr haltbar mache. Ford zitierte ein Abkommen über technische Unterstützung zwischen GM und Chrysler, wonach letzterem Hersteller (der 1979 gerade durch ein einzigartiges finanzielles Eingreifen des Bundes vor dem Konkurs gerettet wurde) unter anderem zwei Prototyp-Emissionskontrollsysteme zur Verfügung gestellt werden. Da auch schon zwischen GM und AMC ein ähnliches Abkommen vom "Department of Justice" sanktioniert worden war, und beide Abkommen sicher auch den Austausch der obengenannten "restricted information" beinhalten, sah Ford sich als benachteiligter Außenseiter, der allein noch nach den "Consent Decree"-Vorschriften arbeiten mußte.

Das Gericht erkannte diese Argumentation an und wies darüber hinaus auf folgende Punkte hin, die ebenfalls eine Beibehaltung der ehemaligen Auflagen für die Automobilindustrie nicht rechtfertigen würden:

- a) Forschungs- und Entwicklungskosten auf dem Gebiet der behördlich vorgeschriebenen und vom Markt geforderten Emissions- und Kraftstoffverbrauchsbeschränkungen haben "astronomische Höhen" angenommen, so daß ein einzelner Hersteller diese Programme kaum mehr allein in Angriff nehmen kann oder will. Wenn man eine befriedigende Lösung dieser Probleme zu erreichen beabsichtigt, sei dies höchstwahrscheinlich nur durch vereinte Anstrengungen möglich.
- b) Im Jahre 1969 existierte noch kein Energieproblem und Luftverschmutzung war sowohl in der Öffentlichkeit wie auch bei den Behörden das vorrangig behandelte Thema. Heute bestünde jedoch die Forderung, beide Probleme gemeinsam zu lösen, wobei die Problemlösungs-Wege oft in Konflikt miteinander stehen: Optimale Emissionskontrolle entspricht nicht notwendigerweise auch günstigstem Kraftstoffverbrauch.
- c) Der Präsident der Vereinigten Staaten hat den Beginn einer "basic research initiative" auf dem Gebiet der Automobiltechnologie angekündigt. Sie soll in Form eines gemeinsamen Programms zwischen Regierung, Automobilindustrie und bestimmten technischen Institutionen mit dem Ziel ablaufen, einen Fahrzeugantrieb zu entwickeln, der geringsten Kraftstoffverbrauch bei gleichzeitig minimalem Emissionsniveau zeigt.

Mit der Feststellung, die heutige Umwelt unterscheide sich so grundsätzlich von derjenigen im Jahre 1969, daß eine Verlängerung der Verbote des "Consent Decree" unangemessen, produktivitätshemmend und aus Sicht eines übergeordneten nationalen Interesses ungerechtfertigt sei, wurde die regierungsseitig beantragte 10jährige Verlängerung am 16.07.1979 vom Bundesrichter Jesse Curtis abgelehnt {334}.

Trotzdem verbietet der "Consent Decree" auch in Zukunft Absprachen zur Begrenzung der Entwicklung von Emissionskontrollteilen, wogegen industrieseitige Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung sowie Informationsaustausch wieder gestattet sind.

## 6. Entwicklungsgeschichte von Grenzwerten, Testverfahren und Fahrzyklen der US-Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw

Nach der in den vergangenen Kapiteln erfolgten allgemeinen Diskussion der gesetzgeberischen Bemühungen zur Erfassung, Beurteilung und Reduzierung der Schadstoffemissionen aus Kraftfahrzeugen soll nachfolgend der seitens der US-Umweltschutzbehörden in diesem Zusammenhang erbrachte Aufwand anhand einer Betrachtung der obengenannten speziellen Themenkreise abgerundet werden.

### 6.1 Entwicklungsgeschichte der Emissionsgrenzwerte unter kalifornischer Gesetzgebung

Wie es sich schon bei der Behandlung der generellen Emissionskontrollgesetzgebung der USA in Kap. 3 (unter anderem aus historischen Gründen) als erforderlich erwiesen hatte, so muß auch an dieser Stelle wieder eine separate Diskussion der Aktivitäten der kalifornischen Behörde (ARB) und der Arbeiten der Bundesbehörde (EPA) erfolgen.

### 6.1.1 Herleitung der ersten Abgas-Emissionsgrenzwerte der Welt für Pkw

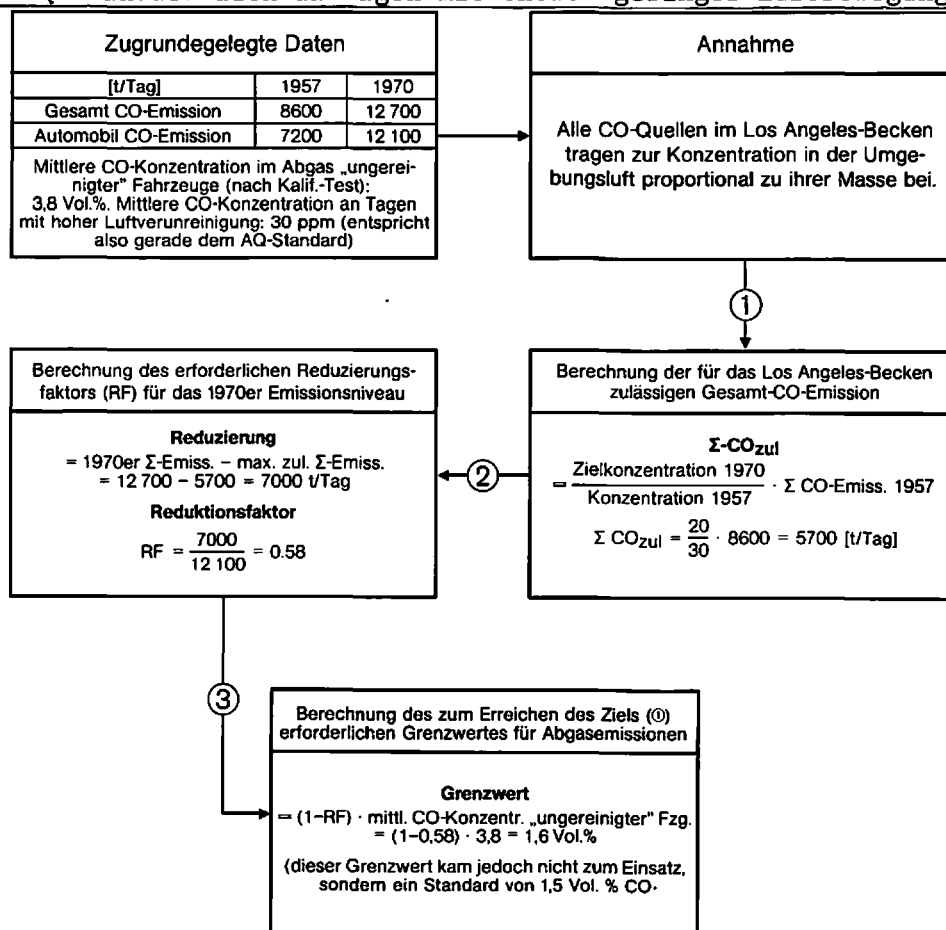
Am 04.12.1959 wurden durch das "California Department of Public Health" erstmals auf der Welt Grenzwerte für die in einem Fahrprogramm ermittelten Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffanteile im Abgas von Fahrzeugen mit Otto-Motor verabschiedet [335]. Diese vom "State Board of Public Health" festgelegten Emissionsgrenzwerte entstanden durch Abschätzung desjenigen Reinigungsgrades, der erforderlich war, die durch die in Kap. 1.1.5 beschriebenen Luftqualitätsstandards geforderten Umweltbedingungen zu erreichen.

Hierbei war es das Ziel, für das Jahr 1970 unter Berücksichtigung aller Emissionsquellen im Los Angeles Becken im 8-Stunden-Mittel 30 ppm CO und im 1-Stunden-Mittel 0,15 ppm Oxidantien nicht zu überschreiten, was durch eine 80%ige HC- und 60%ige CO-Reduzierung im Abgas von Automobilen erreicht werden sollte [336, 337]. Die vorgeschriebenen Abgas-Emissionsgrenzwerte entstanden unter Mitwirkung verschiedener Beratungsgruppen und Einzelpersonen und stellen – zusammen mit dem Gesetzgebungswerk – eine Pionierleistung dar.

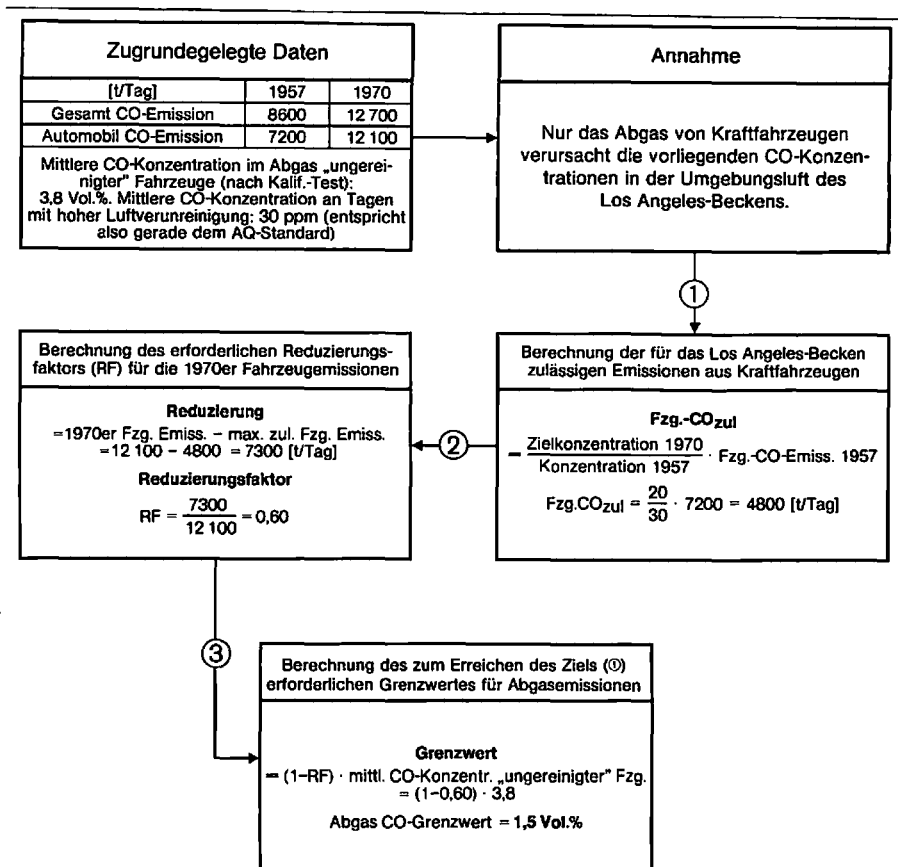
#### 6.1.1.1 Der CO-Grenzwert

Der CO-AQ-Standard bezieht sich auf den "serious level" (d. h. auf "ernste Gefahr") [338]. Man wollte den CO-Emissionsgrenzwert für Automobilabgas so bestimmen, daß der AQ-Standard auch an Tagen mit extrem geringer Luftbewegung (Windstille, Inversion)

nicht überschritten würde. Man ging von der mittleren CO-Konzentration an einem Tag mit hoher Luftverunreinigung aus, der in Los Angeles in den Jahren 1955 bis 1958 bei 30 ppm/8h lag (und damit dem AQ-Standard entsprach!). Maximalwerte erreichten 40 ppm/8h. Aufzeichnungen der CO-Schwankungen über mehrere Jahre hatten gezeigt, daß man den Maximalwert an "gefährlichen" Tagen auf Höhe des AQ-Standards halten konnte, wenn der Mittelwert an diesen Tagen auf 20 ppm/8h begrenzt blieb. Dieser Wert sollte also durch



**Bild II.6-1:** Berechnungsversuch des CO-Abgas-Emissionsgrenzwertes für Automobile in Kalifornien aus vorgegebener, als maximal zulässig angesehener, Gesamt-CO-Emissionsbelastung des Los Angeles-Becken für das Jahr 1970, nach [339].



**Bild II.6-2:** Endgültige Berechnung des ersten CO-Abgasemissionsgrenzwertes der Welt für Automobile in Kalifornien aus vorgegebener, als maximal zulässig angesehener, durch Kraftfahrzeuge verursachter CO-Emissionsbelastung des Los Angeles-Becken für das Jahr 1970, nach [339].

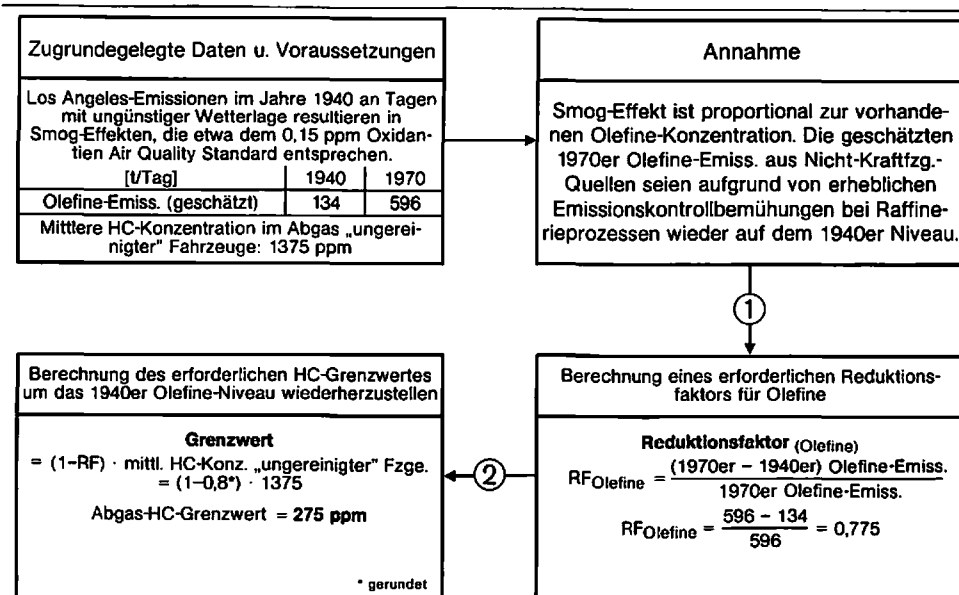
### 6.1.1.2 Der HC-Grenzwert

Ein HC-Grenzwert wurde aufgrund des vorgegebenen Oxidantien-AQ-Standards gefordert. Im Unterschied zum CO-Fall bezieht sich der Oxidantien-Standard auf Substanzen, die im Automobilabgas nicht vorhanden sind, die jedoch in der Atmosphäre mittels des im Autoabgas vorhandenen "Rohmaterials" entstehen. Der Oxidantien-Standard bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen Oxidantien und Smog-Erscheinungen (Augenreizung, Pflanzenschäden, Bildung photochemischer Aerosole). Diese Erscheinungen variieren im Verhältnis der Olefinkonzentration in der Atmosphäre. Als Ziel wurde vorgegeben, den 0,15 ppm/1h Oxidantien AQ-Standard an einem "mittelschweren" Smog-Tag einzuhalten [340].

Zwei Methoden wurden benutzt, um die dafür erforderliche HC-Absenkung zu berechnen, von der hier nur die "Rollback"-Methode beschrieben werden soll (die zweite indirekte Methode arbeitete mit den atmosphärischen Konzentrationen von CO und Olefinen und drückte den festzulegenden HC-Grenzwert für Automobilabgase als erforderliche Olefin-Absenkung aus [340]).

### 6.1.1.3 Die "Rollback"-Methode

Diese Methode basiert auf der Annahme, daß Emissionen in Los Angeles an Tagen ungünstiger Wetterlagen im Jahre 1940 Smog-Effekte verursachten, die einem Oxidan-



**Bild II.6-3:** Berechnung des ersten HC-Abgasemissionsgrenzwertes der Welt für Automobile in Kalifornien mit dem Ziel, im Jahre 1970 wieder die (auf Oxidantiengehalt bezogene) Luftqualität des Jahres 1940 zu erreichen, nach [340].

tien-Niveau von 0,15 ppm/1h entsprachen. Es wurde ein Reduktionsfaktor berechnet, der die 1970er Verunreinigungen auf das 1940er Niveau senken sollte. Wiederum wurde über die Absenkung des Olefingehaltes, hier direkt, gerechnet. Mit der Annahme, daß die 1970er Olefinemissionen von Nicht-Autoabgasquellen dem 1940er Niveau entsprachen, konnte die

notwendige Autoabgas-HC-Absenkung zum Erreichen des 1940er Niveaus einfach berechnet werden. Die 1970er Olefinemissionen betrugen 596 t/Tag, für 1940 schätzte man den Wert auf 134 t/Tag. Die Berechnung des HC-Emissionsgrenzwertes für Automobile erfolgte dann nach Bild II.6-3.

#### 6.1.2 Chronologische Weiterentwicklung der Emissionsgrenzwerte unter kalifornischer Gesetzgebung

Nach Schaffung der obengenannten Grundlagen entwickelten sich die für Automobile gültigen Grenzwerte in den folgenden Jahren sukzessive weiter und eilten hierbei zeitlich und in der "Schärfe" meist der entsprechenden Bundes-Gesetzgebung voraus. Obwohl die heutigen US-Emissionskontrolltechnologien nahezu den Endstand der Möglichkeiten zur Schadstoffsenkung erreicht haben, kann noch nicht abgesehen werden, ob der - in dem zurückliegenden Zeitraum von etwa 2 Dekaden weitgehend begründbare - Alleingang Kaliforniens zugunsten von bundeseinheitlichen Vorschriften beendet wird.

##### 6.1.2.1 Grenzwerte für Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase

Am 02.12.1960 nahm das "Board of Public Health" eine Vorschrift zur Begrenzung der Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase von Pkw mit Otto-Motoren an. Die entsprechenden Emissionen wurden auf einen Massenanteil von 0,15 % des im Test verbrauchten Kraftstoffes limitiert. Diese Begrenzung hatte an den Fahrzeugen den Übergang vom "offenen" Entlüftungssystem auf sogenannte "halboffene" Kontrollsysteme zur Folge [341, 342].

Ab 01.01.1964 wurde die Emission von Kurbelgehäusegasen durch Einsatz der "geschlossenen" PCV ("Positive Crankcase Ventilation")-Systeme praktisch auf Null reduziert.

##### 6.1.2.2 Grenzwerte für Verdunstungs-Emissionen

Die Emissionen durch Verdunstungsverluste erfuhren erstmals eine Limitierung ab Mo-

delljahr 1970, und zwar wurden die Verluste aus Tank und Vergaser zusammen auf 6,0 g/T (Gramm pro Test) nach der Kohlefallenmethode (Aktivkohlebehälter wurden an Tankdeckel und Luftfiltereinlaß angeschlossen) festgesetzt. Dieser Grenzwert wurde ab Modelljahr 1972 auf 2,0 g/T verschärft und bis einschließlich Modelljahr 1977 beibehalten.

Die ab Modelljahr 1978 auch von Kalifornien übernommene SHED ("Sealed Housing for Evaporative Emissions Determination")-Methode bedingte zwar wieder eine zahlenmäßige Anhebung des Grenzwertes auf 6,0 g/T, stellte jedoch keine Erleichterung für den Automobilhersteller dar, da in der geschlossenen Meßkabine auch bisher nicht erfaßbare HC-Verdunstungsemissionen mitgemessen wurden. Schon ab Modelljahr 1980 wurde dieser Standard wieder auf 2,0 g/T verschärft, Planungen bezüglich weiterer Absenkungsstufen sind jedoch bisher nicht bekannt.

#### 6.1.2.3 Grenzwerte für Abgas-Emissionen

Die unter 6.1.1 hergeleiteten ersten "Auspuff-Emissionsgrenzwerte" der Welt blieben in Kalifornien zwei Modelljahre lang unverändert als Einheitsstandards für alle Fahrzeuggrößen gültig. Nachdem Kalifornien für diese zwei Modelljahre der einzige US-Bundesstaat mit gesetzlich gültigen Emissionskontrollvorschriften und dazugehörigem Zertifizierungsverfahren blieb, erfolgte ab Modelljahr 1968 - mit Einsatz der in Kap. 6.2 beschriebenen bundesweiten Emissionskontrollgesetzgebung - eine Abwandlung der Abgasstandards derart, daß die unterschiedlichen Verhältnisse von Abgasmenge und Schadstoff-Konzentration bei kleinen und großen Fahrzeugen durch Einführung verschiedener Grenzwerte für in 3 Klassen eingeteilte Motorgrößen berücksichtigt wurden. Durch eine Änderung im Meßverfahren bedingt, war es jedoch bereits ab Modelljahr 1970 wieder möglich, Einheitsgrenzwerte für alle Fahrzeug- und Motorgrößen festzulegen.

Wie schon mit den für Modelljahr 1966 eingeführten Abgasgrenzwerten und der ab Modelljahr 1970 vorgeschriebenen Verdunstungskontrolle, so übernahm Kalifornien ab Modelljahr 1971 abermals die Führungsrolle auf dem Gebiet der Emissionskontrollgesetzgebung, und zwar durch Einführung eines  $\text{NO}_x$ -Standards für die Abgasemission. Inzwischen war ein neues Fahrprogramm für den Abgastest, der LA-4-Zyklus entwickelt worden, und da Kalifornien im Modelljahr 1972 den inzwischen von der EPA nicht mehr verwendeten 7-Mode-Zyklus noch parallel zu diesem neuen Fahrzyklus zuließ, sah die Gesetzgebung auch zwei verschiedene Grenzwertgruppen vor (die Entstehungsgeschichte des LA-4- sowie des 7-Mode-Zyklus wird in Kap. 6.3.2 detailliert beschrieben). Verwickelt wurde die Situation, weil ein Hersteller, der für die Kalifornienzertifikation seiner Fahrzeuge den bei der EPA-Zertifikation ohnehin zu verwendenden LA-4-Zyklus wählte, speziell für Kalifornien mit betriebswarmem Motor zusätzlich zwei 7-Mode-Zyklen fahren mußte. Diese Komplikation ergab sich aus der Tatsache, daß für den LA-4-Zyklus bei der EPA-49 Staaten-Zertifikation noch kein  $\text{NO}_x$ -Grenzwert gültig war. Die obengenannten zwei Heißstart-7-Mode-Zyklen dienten also der  $\text{NO}_x$ -Ermittlung im Hinblick auf den kalifornischen Standard.



Zusätzlich stellte die kalifornische Behörde ab Modelljahr 1972 die Forderung auf, daß alle Motoren mit Kraftstoff einer Research Oktanzahl (ROZ) von 91 kloppfrei betreibbar sein mußten.

Ab Modelljahr 1973 erfolgten ständig weitere Verschärfungen der Emissions-Standards, wobei in den Modelljahren 1975/76 nur die HC- und  $\text{NO}_x$ -Grenzwerte eigene kalifornische Standards repräsentierten, der CO-Wert Kalifornien jedoch von der EPA vorge-schrieben worden war.

Ab Modelljahr 1977 berücksichtigte Kalifornien bei der Gesamt-HC-Messung das un-schädliche Methan und erlaubte die Anwendung eines sogenannten "Methan-Bonus" (Mo-delljahr 1977 bis 79 oder wendete einen niedrigeren HC-Standard an, wenn Kohlenwas-serstoffe im Abgastest methanfrei gemessen wurden.

Pkw mit Diesel-Motoren wurden erstmals im Modelljahr 1980 in die kalifornische Ge-setzgebung zur Begrenzung der Auspuff-Emissionen einbezogen (HC, CO,  $\text{NO}_x$ ). Eine Übernahme der EPA-Gesetzgebung zur Partikel-Emissionsbegrenzung bei Diesel-Motoren erfolgte ab Modelljahr 1982.

Für die Modelljahre 1980 bis 82 führte Kalifornien als Option für den Automobilher-steller eine 100.000 Meilen Dauerlauf-Alternative im Zertifizierungsverfahren ein und bot damit die Möglichkeit eines erleichterten  $\text{NO}_x$ -Grenzwertes an (mit dem sonst allgemein üblichen 50.000 Meilen Zertifikations-Dauerlauf waren für diese Modelljahre schärfere  $\text{NO}_x$ -Grenzwerte verbunden).

Für Otto-Motoren mit Vergaserbetrieb wurde ab Modelljahr 1980 außerdem der Nachweis gefordert, daß die Gemischaufbereitungsanlage des Motors "soviel Sauerstoff liefert, daß es theoretisch möglich ist, auch bei Luftdrücken von entsprechend N.N. (Normal Null = Meereshöhe) bis etwa 1.830 m über N.N. den gültigen CO-Standard einzuhalten ('Höhengesetzgebung').

Ab Modelljahr 1981 kann bei den Optionen 50.000/100.000 Meilen Zertifizierungs-Ab-nahmelauf innerhalb des 50.000 Meilen-Dauerlaufs für die Modelljahre 1981 und 82 so-wie bei der 100.000 Meilen-Option generell zwischen verschiedenen Grenzwertgruppie-rungen für die Abgasemissionen gewählt werden, wobei diese Wahl unterschiedlich für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren möglich ist.

Eine Zusammenstellung der chronologischen Folge aller Gesetz gewordenen kaliforni-schen Emissionsgrenzwerte für Pkw mit Otto- und Diesel-Motor einschließlich der da-zugehörigen Randbedingungen findet sich in Bild II.6-4.

## 6.2 Entwicklung der Emissionsgrenzwerte unter Bundes-Gesetzgebung

Am 31. März 1966 wurden (gemäß den 1965er Ergänzungen des "Clean Air Act") die er-sten Grenzwerte für Auspuffemissionen von Pkw im "Federal Register" veröffentlicht. Hierbei wurde auf die kalifornischen Erfahrungen zurückgegriffen (wo bereits seit zwei Modelljahren nach den in 6.1.2.3 beschriebenen Standards Neufahrzeuge zertifi-ziert wurden) und eine nach Hubraum gestaffelte Grenzwertgruppe übernommen {343}.

Emission Modelljahr	Kurbel- gehäuse	Ver- dunstung [g/Test]	HC	CO	NO <sub>x</sub>	Fahrzyklus	Bemerkungen												
			bis 1969: [ppm] ab 1970: [g/m]	bis 1969: [Vol. %] ab 1970: [g/m]	[g/m]	Abgas- Meßtechnik													
1964	0.0 <sup>a)</sup>	—	—	—	—	—	a) Ab Modelljahr 1961 zunächst freiwillige Abschaffung der bis dahin üblichen offenen Entlüftungssysteme („road draft tube“). Einführung verschiedener sog. „halboffener“ Systeme auf freiwilliger Basis. Ab 1. 1. 1964 wurden geschlossene Systeme per Gesetz vorgeschrieben (PCV-Systeme = Positive Crankcase Ventilation). Damit waren die Kurbelgehäuse-Emissionen praktisch auf Null reduziert (die Grenzwerte lauteten ab 1. April 1963 = 0,15% und ab 1. Januar 1964 = 0,10% des verbrauchten Kraftstoffes).												
1966/67	0.0	—	275	1.5	—	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung (HC als n-Hexan)	Der 7-mode Zyklus ist eine Kurzform des ursprünglich im kalifornischen Gesetz vorgesehenen 11-mode Zyklus. Die ersten Abgas-Standards waren Einheitsgrenzwerte für alle Fahrzeug- bzw. Motorgrößen.												
1968/69	0.0	—	410 <sup>b)</sup> 350 <sup>c)</sup> 275 <sup>d)</sup>	2.3 <sup>b)</sup> 2.0 <sup>c)</sup> 1.5 <sup>d)</sup>	—	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung (HC als n-Hexan)	Grenzwerte nach Fahrzeug-Hubraum gestaffelt: <table><tr><td></td><td>[cu. in.]</td><td>[cm<sup>3</sup>]</td></tr><tr><td>b)</td><td>50 bis 100</td><td>820 bis 1639</td></tr><tr><td>c)</td><td>100 bis 140</td><td>1640 bis 2290</td></tr><tr><td>d)</td><td>140</td><td>2290</td></tr></table>		[cu. in.]	[cm <sup>3</sup> ]	b)	50 bis 100	820 bis 1639	c)	100 bis 140	1640 bis 2290	d)	140	2290
	[cu. in.]	[cm <sup>3</sup> ]																	
b)	50 bis 100	820 bis 1639																	
c)	100 bis 140	1640 bis 2290																	
d)	140	2290																	
1970	0.0	6.0	2.2	23.0	—	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung mit Um- rechnung auf Massenemission	Ab Modelljahr 1970 wieder Einheitsgrenzwerte für alle Fahrzeug- bzw. Motorgrößen. Die (neu begrenzten) Verdunstungsemissionen werden mit Kohletallen gemessen.												
1971	0.0	6.0	2.2	23.0	4.0	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung mit Um- rechnung auf Massenemission	Stickoxide wurden mit NDIR als NO gemessen und auf NO <sub>2</sub> umgerechnet.												
1972	0.0	2.0	1.5 3.2	23.0 39.0	3.0 3.2 <sup>e)</sup>	Alternativ 7-mode Zyklus wie 1971 LA-4 Zyklus wie 1973	e) Wenn anstelle des im Modelljahr 1972 in Kalifornien noch gesetzlich gültigen 7-mode Zyklus der LA-4 Zyklus gewählt wurde, mußten anschließend zwei 7-mode Zyklen (mit Motorwarmstart) zur NO <sub>x</sub> -Ermittlung gefahren werden. Für die übrigen 49 Bundesstaaten galt der LA-4 Zyklus ohne NO <sub>x</sub> -Grenzwert.												
1973	0.0	2.0	3.2	39.0	3.0	LA-4 Zyklus	Ab Modelljahr 1973 erfolgt Übergang auf die Chemolumineszenz-Methode zur NO <sub>x</sub> -Messung.												
1974	0.0	2.0	3.2	39.0	2.0	Massenemissions- Messung mit CVS-C													
1975/76	0.0	2.0	0.9 <sup>f)</sup> 1.5 <sup>g)</sup>	9.0 <sup>f) g)</sup>	2.0 <sup>f)</sup> 3.1 <sup>g)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	f) Diese Werte stellen (außer dem CO-Wert, der Kalifornien von der EPA vorgeschrieben wurde) eigene kalifornische Standards dar. Da Kalifornien noch kein eigenes „Diesel-Gesetz“ hat, gelten jedoch diese Standards nicht für PKW mit Diesel-Motor. g) Diese Grenzwert-Kombination wurde von der EPA für in Kalifornien zu verkaufende PKW mit Diesel-Motor vorgeschrieben.												
1977	0.0	2.0	0.41 <sup>h)</sup>	9.0	1.5	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Für PKW mit Diesel-Motor gelten die 49-Staaten-Grenzwerte. h) für PKW mit Otto-Motoren und Oxidationskatalysator. Wert beträgt 0.46 g/m, wenn der gesetzlich zugestandene „Methan-Bonus“ (Faktor 0.89) angewendet wird. Auf Antrag kann der Hersteller nach Einreichen und Anerkennung entsprechender Testergebnisse einen höheren Bonus genehmigt bekommen.												
1978/79	0.0	6.0	0.41 <sup>h)</sup>	9.0	1.5	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Für PKW mit Diesel-Motoren gelten die 49-Staaten-Grenzwerte. Ab Modelljahr 1978 werden die Verdunstungs-Emissionen mit der SHED-Methode ermittelt.												
1980	0.0	2.0	0.41 <sup>h) i)</sup>	9.0	1.0 1.5 <sup>j)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Ab Modelljahr 1980 schließt Kalifornien PKW mit Diesel-Motoren in seine Gesetzgebung ein. i) Wert beträgt 0.39 g/m, wenn methanfrei gemessen wird. j) gültig, wenn Zertifikationslauf statt über 50 000 Meilen über 100 000 Meilen gefahren wird (Hersteller-Option).												
1981	0.0 0.0	2.0 2.0	0.41 <sup>l)</sup> 0.41 <sup>i) n)</sup>	3.4 <sup>l)</sup> 7.0 <sup>n)</sup>	1.0 <sup>l)</sup> 1.5 <sup>j)</sup> 0.7 <sup>n)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	k) Ab Modelljahr 1982 wird von der US-EPA bundesweit ein PARTIKEL-Grenzwert von 0.6 g/m für PKW mit Diesel-Motoren gefordert. Dieser Grenzwert wird dann auch für Kalifornien gültig. Ab Modelljahr 1985 wird dieser Grenzwert auf 0.2 g/m verschärft.												
1982 <sup>k)</sup>	0.0 0.0	2.0 2.0	0.41 <sup>i) m)</sup> 0.41 <sup>i) n)</sup>	7.0 <sup>m)</sup> 7.0 <sup>n)</sup>	0.4 <sup>m)</sup> 1.5 <sup>j)</sup> 0.7 <sup>n)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	l) m) n) Für die Modelljahre 1981/82 gibt es (über die Hersteller-Option 50 000/100 000 Meilen-Lauf hinaus) die Möglichkeit, zwischen den Grenzwertgruppierungen l) (1981) und m) (1982) einerseits oder der Gruppierung n) (1981-1982) andererseits zu wählen. Diese Wahl kann für Fahrzeuge mit Otto- und solche mit Diesel-Motor unterschiedlich getroffen werden. Zusätzlich fordert Kalifornien ab Modelljahr 1980 die Erfüllung eines Highway-NO <sub>x</sub> -Standards. Highway-Standard = 1.33 x City-Standard												
ab 1983 <sup>k)</sup>	0.0 0.0	2.0 2.0	0.41 <sup>i)</sup> 0.41 <sup>i)</sup>	7.0 7.0	0.4 1.5 <sup>j)</sup> 0.7 <sup>o)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Außerdem wird ab Modelljahr 1980 der Nachweis gefordert, daß das Gemisch-aufbereitungssystem bei Vergasermotoren „soviel Sauerstoff“ liefert, daß es theoretisch möglich ist, auch bei Barometerdrücken entsprechend Seehöhe bis 6000 ft (1829 m) den gültigen CO-Standard einzuhalten. Einspritzmotoren (auch Diesel) sind von dieser Forderung ausgenommen. o) Diese Grenzwertkombination mit erleichtertem NO <sub>x</sub> -Standard gilt ab Modelljahr 1983 für Hersteller, die dafür einen auf 7 Jahre oder 75000 Meilen ausgedehnten Recall-Zeitraum in Kauf nehmen.												
ab 1984 <sup>k)</sup>	0.0 0.0	2.0 2.0	0.41 <sup>i)</sup> 0.41 <sup>i)</sup>	7.0 7.0	0.4 1.0 <sup>j)</sup> 0.7 <sup>o)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH													

Erklärungen:

7-mode Zyklus:  
LA-4 Zyklus:  
CVC-C:  
CVS-CH:  
SHED:  
Methan-Bonus:  
Highway/City-Standard:  
NDIR:  
EPA:

Erster bei PKW Emissions-Zertifizierungstests gesetzlich angewendeter Fahrzyklus. Kontinuierlicher Fahrzyklus, eingeführt bei Übergang auf Massenemissions-Messung. „Constant Volume Sample“-Abgasanalyse mit Motor-Kalt-(Cold)Start im LA-4 Zyklus wie CVC-C, aber Wiederholung der ersten 505 s des LA-4 Zyklus mit Motor-Warm-(Hot)Start „Sealed Housing for Evaporative Emissions-Determinations“ (Die Verdunstungs-Emissionen werden in geschlossener Kabine für das gesamte Fahrzeug ermittelt). Faktor, der den Emissions-Grenzwert um 11% erleichtert (berücksichtigt das - unschädliche - Methan bei der Kohlenwasserstoff-Analyse des Abgases). Grenzwert für den Highway- bzw. City (= LA-4)-Fahrzyklus  
Nondispersive Infrared Analyzer.  
Environmental Protection Agency (Bundes-Umweltschutzbehörde). Die entsprechende kalifornische Behörde heißt ARB (Air Resources Board).

**Erläuterungen:**

7-mode Zyklus:  
LA-4 Zyklus:  
CVC-C:  
CVS-CH:  
SHED:  
Methan-Bonus:  
Highway/City-Standard:  
NDIR:  
EPA:

Erster bei PKW Emissions-Zertifizierungslests gesetzlich angewendeter Fahrzyklus.  
Kontinuierlicher Fahrzyklus, eingeführt bei Übergang auf Massenemissions-Messung.  
„Constant Volume Sample“-Abgasanalyse mit Motor-Kalt-(Cold)Start im LA-4 Zyklus.  
wie CVS-C, aber Wiederholung der ersten 505 s des LA-4 Zyklus mit Motor-Warm-(Hot)Start.  
„Sealed Housing for Evaporative Emissions-Determinations“ (Die Verdunstungs-Emissionen werden in geschlossener Kabine für das gesamte Fahrzeug ermittelt).  
Faktor, der den Emissions-Grenzwert um 11% erleichtert (berücksichtigt das - unschädliche - Methan bei der Kohlenwasserstoff-Analyse des Abgases).  
Grenzwert für den Highway- bzw. City (= LA-4) Fahrzyklus.  
Nondispersive Infrarot Analyser.  
Environmental Protection Agency (Bundes-Umweltschutzbehörde). Die entsprechende kalifornische Behörde heißt ARB (Air Resources Board).

**Bild II.6-4:** Zusammenstellung der Gesetz gewordenen USA-Kalifornien Emissionsgrenzwerte für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren.

Daher ist eine Herleitung der ersten Emissionsgrenzwerte der US-Bundesgesetzgebung aus Luftqualitäts-Zielen (wie in 6.1.1 für Kalifornien dargestellt) nicht möglich.

#### 6.2.1 Herleitung der zum Erreichen eines gesundheitsunschädlichen Luftverunreinigungs-Niveaus erforderlichen Reduktionsstufen für Abgas-Standards (Grundlage der "Clean Air Amendments" von 1970)

Gemäß den 1967er "Amendments" zum "Clean Air Act" ist das DHEW verpflichtet, Luftqualitäts-Standards zu veröffentlichen. Nachdem diese Standards für photochemische Oxidantien, CO, HC und NO<sub>x</sub> verfügbar waren, wurde es möglich, künftige Emissionsgrenzwerte für Automobile an der gewünschten Luftqualität – repräsentiert durch die oben genannten "AQ-Standards" – zu orientieren. Die "AQ-Standards" sind dabei Konzentrationen und Beaufschlagungszeiten, deren Überschreiten (wahrscheinlich) gesundheits-schädigende Auswirkungen haben oder zur Beeinträchtigung von Gesundheit und Wohlergehen beitragen.

Die in einer Arbeit von D. S. Barth {197} im August 1970 veröffentlichten gewünschten Luftqualitätsziele wurden bereits in Kap. 1.2.1 beschrieben und in Bild II.1-15 gezeigt. Aus diesen Zielzahlen können mittels einer einfachen "Rollback"-Methode, wie von Kalifornien angewendet und in Kap. 6.1.1.3 beschrieben, die erforderlichen Emissionsgrenzwerte für Automobile abgeleitet werden. Diese einfache "Rollback"-Methode beinhaltet eine Reihe von Annahmen, die nicht unbedingt voll gültig sein müssen. Eine Hauptannahme ist z. B., daß der Anstieg atmosphärischer Konzentrationen von Primär-Schadstoffen dem Konzentrationsanstieg des betreffenden Schadstoffes direkt proportional ist. Auch wurde bei der Herleitung der ersten kalifornischen Emissionsgrenzwerte für Automobile ein linearer Zusammenhang zwischen Oxidantien-Index und reaktiven HC in der Atmosphäre angenommen ohne NO<sub>x</sub> einzubeziehen.

Da andererseits ein (theoretisch ideales) umfassendes Simulationsmodell, das alle Faktoren – z. B. meteorologische Variablen, chemische Prozesse in der Atmosphäre etc. – einbezieht, nicht zur Verfügung stand, wurde nach {197} eine "modifizierte Rollback"-Methode angewendet, um die zum Erreichen eines gesundheitsunschädlichen Luftverunreinigungsniveaus erforderlichen Absenkungsraten der Schadstoffanteile im Automobilabgas zu errechnen.

Die Herleitung dieser Reduktionsraten, an denen sich die "Statutory Standards" der 1970er "Clean Air Amendments" orientierten, sei nachfolgend wiedergegeben.

#### 6.2.2 Die "modifizierte Rollback"-Methode

Mittels einer "modifizierten Rollback"-Methode und unter Benutzung einer 1967er "baseline" (Ausgangsniveau) wurden in {197, 344, 345} die im Jahre 1980 notwendigen Emissionsgrenzwerte auf Massengrundlage und die bis dahin erforderlichen Absenkungsraten in % errechnet.

Hierzu wurden zwei Gleichungen herangezogen: Gleichung (1) (die "simple rollback equation") erlaubt die Berechnung der anteilmäßigen Reduktion (R) von Umgebungskon-

zentrationen, die zum Erreichen einer bestimmten Luftqualität erforderlich sind. Sie berücksichtigt die augenblickliche Luftqualität PAQ ("Present Maximum Air Quality"), die gewünschte Luftqualität DAQ ("Desired Air Quality"), die Umgebungskonzentration B ("Background Concentrations") und die angenommene Emissionszunahme GF ("Growth Factor") und lautet damit:

$$R = \frac{(GF) \cdot (PAQ) - (DAQ)}{(GF) \cdot (PAQ) - B} \quad (1)$$

Die 2. Gleichung verwendet das Ergebnis von Gleichung (1), um die Verbesserung der Luftqualität in Form von Emissionsraten für mobile Quellen auszudrücken:

$$DER = (PER) \cdot (1-R) \quad (2)$$

wobei DER die gewünschte Emissionsrate ("Desired Emission Rate") ist, und die augenblickliche Emissionsrate PER ("Present Emission Rate") die PAQ verursacht. Das Produkt  $(PER) \cdot (1-R)$  gibt also das gewünschte Emissionsniveau, das der gewünschten Luftqualität entspricht. Damit die berechneten Emissionsgrenzwerte wirklich die Gesundheit schützen, müssen bestimmte Prinzipien beim Einsetzen der Werte in die obengenannten Gleichungen beachtet werden:

- a) Die PAQ in Gleichung (1) muß den Fall der höchsten Beobachtung in den Gesamt-USA darstellen: Für HC und NO<sub>x</sub>-Werte im Zusammenhang mit Gesundheitseffekten von Oxidantien und Augenreizungen lag die ernsteste Situation in Los Angeles vor, ebenso müssen Los Angeles-Werte verwendet werden, wenn NO<sub>2</sub> betrachtet wird. Bezüglich CO-Gesundheitseinflüssen wird jedoch Chicago herangezogen.
- b) Als Emissionszunahme-Faktor muß die höchste Schätzung eingesetzt werden, und zwar für einen Zeitraum von 1967 bis 10 Jahre nach Einsatz der berechneten Emissionsstandards (die US-Fahrzeugpopulation ersetzt sich innerhalb von etwa 10 Jahren).
- c) Als "Background" müssen ebenfalls die höchsten, wissenschaftlich gesicherten Werte eingesetzt werden.
- d) Für die gewünschte Luftqualität wurden die niedrigsten begründbaren Werte eingesetzt.

Eine Zusammenfassung der in der Rechnung berücksichtigten Zahlenwerte findet sich in Bild II.6-5.

Parameter	CO	HC	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>
1967 max. aufgetretene AQ-Werte <sup>1)</sup>	51 mg/m <sup>3</sup> (44 ppm) 8 h-Mittel f. Chicago	–	–	1300 µg/m <sup>3</sup> für 1 h (0,69 ppm) Los Angeles
1967 max. aufgetretene Oxidantienverursacher (Mittelwert von 6 bis 9 Uhr vormittags)	–	3,5 mg/m <sup>3</sup> als CH <sub>4</sub> (5,3 ppm C) Los Angeles	1170 µg/m <sup>3</sup> als NO <sub>2</sub> (0,62 ppm) Los Angeles	–
1967 mittl. Emissionsrate für alle Motorfahrzeuge (PER) <sup>2)</sup>	82,6 g/m für Chicago-Fahrzeug-Mix	14,84 g/m für Los Angeles-Fahrzeug-Mix	5,93 g/m für Los Angeles-Fahrzeug-Mix	–
Maximale Background-Konzentration	1 mg/m <sup>3</sup> (1 ppm)	0,1 mg/m <sup>3</sup> als CH <sub>4</sub> (0,1 ppm)	8 µg/m <sup>3</sup> als NO <sub>2</sub> (0,004 ppm)	8 µg/m <sup>3</sup> als NO <sub>2</sub> (0,004 ppm)
Maximale Zuwachsrate (GF) <sup>3)</sup> für mobile Emissionen	2,18	2,18	2,18	2,18
Luftqualitätsziele (DAQ) <sup>4)</sup>	10 mg/m <sup>3</sup> (8 ppm) 8 h-Mittel	125 µg/m <sup>3</sup> Oxidantien (0,06 ppm) 1 h-Mittel	125 µg/m <sup>3</sup> Oxidantien (0,06 ppm) 1 h-Mittel	190 µg/m <sup>3</sup> (0,1 ppm) für 1 h

1) AQ = Air Quality 2) PER = Present Emission Rate 3) Growth Factor 4) DAQ = Desired Air Quality

**Bild II.6-5:** Zahlenwerte der Parameter, die in der Berechnung von (zum Erreichen einer gewünschten Luftqualität erforderlichen) Bundes-Emissionsgrenzwerten für Automobilabgas berücksichtigt wurden, nach [346].

Weiterhin wurde in die Berechnung der erforderlichen Grenzwerte die damals (1969/70) vorhandene "Nicht-Bestehensrate" von Fahrzeugen im Verkehr einbezogen. Diese Raten lagen bei 13 % im CO und 25 % im HC, bezogen auf den Zertifikationstest und seine Grenzwerte [347].

Barth hatte in seiner Arbeit - ohne auf Fragen, wie frühest mögliches Einsatzdatum der geplanten Grenzwerte, Stand der Technologie, künftige bessere Erkenntnisse etc., eingehen zu wollen - zur Berechnung der Emissionsgrenzwerte willkürlich das Jahr 1980 als Zieljahr angenommen, zu dem die gewünschte Luftqualität erreicht werden sollte. Daher legte er einen für die Jahre 1967 bis 1980 geschätzten Emissions-Zuwachsfaktor (GF) zugrunde. Er wies darauf hin, daß der prozentuale Beitrag mobiler Quellen an der bestehenden Luftqualität aus dem Jahr 1967, die angenommene Zuwachsrate und die Umgebungskonzentrationen am wenigsten gesichert waren. In Bild II.6-6 ist das Ergebnis der Barth-Rechnungen wiedergegeben, das die für 1980 anzustrebenden Auto-Emissionsgrenzwerte darstellt, wobei die 1970 bekannten HC- und CO-Verschlechterungsraten berücksichtigt wurden.

Emission	Art des Einflusses	Gesundheitsbezogene Luftqualitäts-Ziele	Gesundheitsbezogene mittlere Zeitdauer [h]	Emissions-Ziele für alle Fzge. z. Erreichen der DAQ <sup>2)</sup> [g/m]	Reduktions-Rate [%]
CO	direkt	10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm)	8	6,16	92,5
HC	indirekt	125 µg/m <sup>3</sup> Oxidantien (0,06 ppm)	1	0,15	99,0
NO <sub>x</sub> <sup>1)</sup>	direkt (NO <sub>2</sub> )	190 µg/m <sup>3</sup> (0,1 ppm) (NO <sub>2</sub> )	1	0,38	93,6

1) als NO<sub>2</sub>: Das NO<sub>x</sub>-Emissionsziel ist mit dem NO<sub>2</sub>-Ziel identisch, da in Los Angeles (der höchstgefährdeten Stadt) das gesamte NO in NO<sub>2</sub> umgewandelt wird;  
2) DAQ = Desired Air Quality

**Bild II.6-6:** Die aufgrund einer gewünschten Luftqualität berechneten Bundes-Emissionsgrenzwerte für Automobile. Die zu realisierenden Reduktionsraten [%] waren Orientierungspunkte bei der Festlegung der sogenannten „Muskie-Standards“ in den „Clean Air Amendments“ von 1970, nach [348].

Abschließend sei noch einmal wiederholt, daß sich die in den "Clean Air Amendments" von 1970 etablierten "Statutory Standards" an den obengenannten Berechnungen von Barth orientierten, wobei diese Standards jedoch (entgegen dem Barth-Ziel: 1980) auf die Modelljahre 1975/76 vorgezogen wurden.

### 6.2.3 Chronologische Weiterentwicklung der Emissionsgrenzwerte unter Bundes-Gesetzgebung

Die Bundesgesetzgebung gilt prinzipiell für alle 50 Staaten der USA. Sie ist jedoch bei der Betrachtung der Emissionsstandard-Entwicklung ebenso getrennt von Kalifornien zu behandeln wie bei den später noch diskutierten Ausführungsformen von Zulassungs- und Serienkontrollverfahren. Solange Kalifornien (als einziger Staat der USA) sein Recht auf Sonderregelungen im "Clean Air Act" verankert behält, dürfte sich an der folgenschweren Zweigleisigkeit von Standards und Verfahren innerhalb der Emissionskontrollgesetzgebung der USA kaum etwas ändern.

#### 6.2.3.1 Grenzwerte für Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase

Mit den am 30. März 1966 angenommenen (im Dezember 1965 vorgeschlagenen) Emissions-

grenzwerten für Modelljahr 1968 wurde auch eine 100%ige Kontrolle der aus dem Kurbelgehäuse von Pkw mit Otto-Motoren emittierten Kohlenwasserstoffe vorgeschrieben. Da die Automobilhersteller die erstmals im Modelljahr 1961 in Kalifornien eingesetzten Kurbelgehäuseentlüftungskontrollsysteme schon ab Modelljahr 1963 auf freiwilliger Basis bundesweit eingeführt hatten, waren Emissionen aus dem Kurbelgehäuse bereits zu diesem Zeitpunkt praktisch Null.

#### 6.2.3.2 Grenzwerte für Verdunstungs-Emissionen

Schon am 4. Juni 1968 erfolgte eine Ergänzung von "Part 85" des CFR (Vorschriften-Teil für Emissionskontrolle von Pkw des "Code of Federal Regulations") durch Änderung der Kontrollvorschriften für Abgasemissionen ab Modelljahr 1970 und Hinzufügen von Kontrollvorschriften für Verdunstungs-Emissionen. Die neuen Standards zur Kontrolle der Verdunstungs-Emissionen sollten eine 90%ige Reduzierung der aus dem Tank und Vergaser verdunstenden Kohlenwasserstoffe bewirken und waren erstmals zum Einsatz ab Modelljahr 1971 vorgesehen.

Ab Modelljahr 1978 führte die EPA das neue Verdunstungs-Emissions-Meßverfahren SHED ein, das auch von Kalifornien übernommen wurde. Bezüglich der Grenzwerte und ihrer weiteren Entwicklung gelten die bereits in Kap. 6.1.2.2 für Kalifornien gemachten Ausführungen.

#### 6.2.3.3 Grenzwerte für Abgas-Emissionen (unter Zertifikationstest-Bedingungen)

Ebenfalls am 04.06.1968 wurden auch die ersten "eigenen" Grenzwerte der Bundesbehörde für Schadstoffemissionen im Automobilabgas (HC und CO) für den Einsatz ab Modelljahr 1970 festgelegt. Durch die in Kap. 6.4.2 näher erläuterte Umrechnung der mittels 7-Mode-Zyklus gefundenen Konzentrationswerte auf Massenbasis lauteten diese Grenzwerte 2,2 g HC/m (entsprechend 180 ppm) und 23 g CO/m (entsprechend 1,0 Vol.%) {349}. Die nächste entscheidende Grenzwertverschärfung wurde am 10.02.1970 zusammen mit dem Übergang auf den LA-4-Zyklus ab Modelljahr 1972 angekündigt. Als angestrebte Standards wurden genannt: 3.0 g NO<sub>x</sub>/m für die Modelljahre 1973 und 1974, sowie die Grenzwert-Kombination: 0.5 g HC/m; 11.0 g CO/m und 0.9 g NO<sub>x</sub>/m für Modelljahr 1975 und später. Diese drei Massenemissionswerte entsprachen etwa den Konzentrationswerten: 50 ppm HC, 0.5 Vol.% CO und 250 ppm NO<sub>x</sub>, die erstmals im sogenannten "Morse-Report" {350} vom Oktober 1967 erwähnt worden waren.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß die letztgenannte Grenzwertgruppe recht früh mit der Automobilindustrie besprochen worden war: Nachdem die 1965er "Clean Air Act Amendments" nicht den erhofften Erfolg bezüglich Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen gebracht hatten, rief Präsident Nixon am 20.11.1969 Vertreter der Kraftfahrzeug- und Mineralölindustrie ins Weiße Haus in Washington. Grundlage dieses Gesprächs zwischen dem "Council on Environmental Quality" des Präsidenten und der Automobilindustrie waren Studien des USPHS, die zeigten, daß die Fahrzeuge im praktischen Einsatz nicht das Emissionsniveau aufwiesen, nach dem sie zertifiziert worden waren {279}.

In dem Gespräch stimmten die Automobilhersteller den obengenannten strengeren Emissionsgrenzwerten für Modelljahr 1975 sowie Grenzwerten für 1980 zu (!), die das Auto ab 1980 "sauber" machen würden.

General Motors-Präsident Edward N. Cole sagte zu den in diesem Treffen diskutierten Zielen noch im Mai 1971:

"GM considered the objectives to be tough, but realistic" {351}

Die 1980er Zielsetzung wurde später aufgrund von Rechnungen der NAPCA {197} in Zahlen definiert und in der Grenzwertkombination 0,41 g HC/m, 3.4 g CO/m sowie 0,40 g NO<sub>x</sub>/m als sogenannte "Statutory Standards" oder auch "Muskie-Standards" im Zusammenhang mit der 1970er Überarbeitung des "Clean Air Act" bekannt.

Die Mineralölindustrie erklärte sich bereit, unterstützende Veränderungen auf dem Kraftstoffsektor durchzuführen {279}. Der Kongreß wurde informiert, daß die 1975er Standards, auf die man sich im Weißen Haus geeinigt hatte, zwar noch keine gesunde Luft in den größeren Städten der USA erreichen würden, daß aber die 1980er Emissionsziele das Automobil bis 1990 (Annahme: In 10 Jahren sind alle alten Fahrzeuge durch 1980er Modelle ersetzt, Anm. d. Verf.) als Luftverunreinigungsquelle ausschalten würden {279}.

In Hearings vom März 1970 wurden dem "Subcommittee on Air and Water Pollution" vom USPHS Informationen über das Ausmaß der durch Automobile verursachten Luftqualitätsverschlechterung vorgelegt, die nach einem Bericht des Komitees an den Senat zum 1970er "Clean Air Act" den Kongreß veranlaßten, den im November mit der Automobilindustrie abgesprochenen Zeitplan zu forcieren und die 1980er Ziele (bezüglich HC und CO) auf Modelljahr 1975 sowie (im NO<sub>x</sub>) auf Modelljahr 1976 vorzuziehen {279}.

Es ist bemerkenswert, daß zu jener Zeit die "health data base" (d. h. die gesundheitsbezogenen Überlegungen, die als Basis für die 1980er Zielzahlen gedient hatten) kaum kritisiert wurden. So sagte Donald F. Jensen (Ford's Direktor für Emissionskontrolle):

"We don't even try to argue the need anymore (for gradual, rather than once and for all reduction of emissions). We're going to get it all out, whether it really has to be or not" {351}.

Der weitere Verlauf der Grenzwertfestlegung ist gekennzeichnet durch Einführung eines NO<sub>x</sub>-Grenzwertes von 3.0 g/m ab Modelljahr 1973, der Ausdehnung des Anwendungsbereiches aller Emissionsstandards auch auf Pkw mit Diesel-Motoren ab Modelljahr 1975, der Einführung eines Partikel-Standards von 0.6 g/m für diese Fahrzeuge und der sukzessiven Verschärfung aller Grenzwerte in den folgenden Jahren.

Die ab Modelljahr 1977 eingeführte Vorschrift, daß alle Emissionsgrenzwerte auch in "Höhengebieten" (Gebiete in einer Lage von mehr als  $\approx$  1200 m über N.N.) einzuhalten seien, wurde ab Modelljahr 1978 wieder außer Kraft gesetzt.

Spezielle "Höhen-Standards" konnten dann wieder im Modelljahr 1981 auf freiwilliger

Emission Modelljahr	Kurbel- gehäuse	Ver- dunstung [g/Test]	HC	CO	NO <sub>x</sub>	Fahrzyklus	Bemerkungen															
			bis 1969: [ppm] ab 1970: [g/m]	bis 1969: [Vol.-%] ab 1970: [g/m]	[g/m]	Abgas- Meßtechnik																
1968/69	0.0 <sup>a)</sup>	—	410 <sup>b)</sup> 350 <sup>c)</sup> 275 <sup>d)</sup>	2.3 <sup>b)</sup> 2.0 <sup>c)</sup> 1.5 <sup>d)</sup>	—	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung (HC als n-Hexan)	a) Ab Modelljahr 1963 freiwillige Einführung der in Kalifornien-Modelle eingesetzten Kontrollsysteme auch in 49 Staaten-Fahrzeuge. <table><tr><td colspan="3">Grenzwerte nach Hubraum gestaffelt:</td></tr><tr><td></td><td>[cu in]</td><td>[cm<sup>3</sup>]</td></tr><tr><td>b)</td><td>50 bis 100</td><td>830 bis 1639</td></tr><tr><td>c)</td><td>100 bis 140</td><td>1640 bis 2290</td></tr><tr><td>d)</td><td>&gt; 140</td><td>&gt; 2290</td></tr></table>	Grenzwerte nach Hubraum gestaffelt:				[cu in]	[cm <sup>3</sup> ]	b)	50 bis 100	830 bis 1639	c)	100 bis 140	1640 bis 2290	d)	> 140	> 2290
Grenzwerte nach Hubraum gestaffelt:																						
	[cu in]	[cm <sup>3</sup> ]																				
b)	50 bis 100	830 bis 1639																				
c)	100 bis 140	1640 bis 2290																				
d)	> 140	> 2290																				
1970	0.0	—	2.2	23.0	—	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung mit Um- rechnung auf Massenemission	Ab Modelljahr 1970 Einheitsgrenzwerte für alle Fahrzeug- bzw. Motorgößen															
1971	0.0	6.0	2.2	23.0	—	7-mode Zyklus Konzentrations- Messung mit Um- rechnung auf Massenemission	Die (neu begrenzten) Verdunstungs-Emissionen werden mit Kohlefäden gemessen															
1972	0.0	2.0	3.4	39.0	—	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-C	Anpassung der HC-Grenzwerte an die neue FID-Meßtechnik mit Faktor: HC(FID)/HC(NDIR) = 1.8, sowie Anpassung der HC- und CO-Grenzwerte wegen des Übergangs von Konzentrations- auf Massenemissionsmessung															
1973/74	0.0	2.0	3.4	39.0	3.0	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-C	Ab Modelljahr 1973 Einführung der Chemolumineszenz-Methode zur NO <sub>x</sub> -Messung															
1975/76	0.0	2.0	1.5	15.0	3.1	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Ab Modelljahr 1975 gelten die Emissionsstandards auch für PKW mit Diesel-Motoren Anpassung des NO <sub>x</sub> -Grenzwertes an die CVS-CH Methode															
1977	0.0	2.0	1.5	15.0	2.0	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Ab Modelljahr 1977 gelten die Abgasstandards auch für Höhen-Gebiete > 4000 ft (> 1202 m)															
1978/79	0.0	6.0 <sup>e)</sup>	1.5	15.0	2.0	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	e) Ab Modelljahr 1978 werden die Verdunstungs-Emissionen mit der SHED-Methode ermittelt.  Die im Modelljahr 1977 eingeführten Höhen-Standards werden vorläufig außer Kraft gesetzt															
1980	0.0	6.0	0.41	7.0	2.0 <sup>h)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	Ab Modelljahr 1982 wird von der US-EPA ein Partikel-Grenzwert von 0.6 g/m für PKW mit Diesel-Motoren gefordert. Dieser Wert wird ab Modelljahr 1985 auf 0.2 g/m verschärft. f) dieser Wert kann auf Antrag für die Modelljahre 1981 und 1982 auf 7.0 g/m erleichtert werden. g) dieser Wert kann auf Antrag erleichtert werden, und zwar: - für die Modelljahre 1981 und 1982 auf 2.0 g/m, wenn die weltweite Produktion des Herstellers im Modelljahr 1976 unter 300 000 Einheiten lag. - für Modelljahr 1981 bis 1984 auf max. 1.5 g/m, wenn Hersteller nachweist, daß dieser Standard zur Einführung einer innovativen Technologie oder der Diesel-Technologie erforderlich ist.															
1981	0.0	2.0	0.41	3.4 <sup>h)</sup>	1.0 <sup>g)</sup> <sup>h)</sup>	LA-4 Zyklus Massenemissions- Messung mit CVS-CH	h) ab Modelljahr 1980 kann ein Hersteller freiwillig durch Unterschreiten eines sogenannten „Highway-NO <sub>x</sub> -Grenzwertes“ nachweisen, daß in seinem Abgasreinigungssystem kein unerlaubtes „defeat device“ („Sabotage-Schaltung“) vorhanden ist. „Highway-NO <sub>x</sub> -Standard“ = 1.22 x City (LA-4 Zyklus)-NO <sub>x</sub> -Standard.															
ab 1982	0.0	2.0	0.41	3.4 <sup>h)</sup>	1.0 <sup>g)</sup> <sup>h)</sup>	LA-4 Zyklus	Ab Modelljahr 1982 sind wieder Höhen-Grenzwerte festgelegt, ab Modelljahr 1984 müssen „Seehöhen-Grenzwerte“ auch in „Höhengebieten“ erfüllt werden.															
	ab Modelljahr 1982 gelten wieder „Höhen-Grenzwerte“ für HC, CO und NO <sub>x</sub>		0.57	7.8	1.0	Massenemissions- Messung mit CVS-CH																

Erläuterungen:

7-mode Zyklus:  
LA-4 Zyklus:  
CVS-C:  
CVS-CH:  
SHED:  
EPA:

Erster bei PKW Emissions-Zertifizierungstests gesetzlich angewendeter Fahrzyklus.  
Kontinuierlicher Fahrzyklus, eingeführt bei Übergang auf Massenemissions-Messung.  
„Constant Volume Sample“-Abgasanalyse mit Motor-Kalt-(Cold)Start im LA-4-Zyklus.  
wie CVS-C, aber Wiederholung der ersten 505 s des LA-4 Zyklus mit Motor-Warm-(Hot)Start.  
„Sealed Housing for Evaporative Determinations“ (Die Verdunstungs-Emissionen werden in geschlossener Kabine für das gesamte Fahrzeug ermittelt).  
Environmental Protection Agency (Bundes-Umweltschutzbehörde).

Bild II. 6-7: Zusammenstellung der Gesetz gewordenen USA-49 Staaten Emissionsgrenzwerte für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren.



Basis angewandt werden und wurden für die Modelljahre 1982 und 83 gesetzlich vorgeschrieben. Gemäß "Clean Air Act" Sec. 206 (f)(1) sind ab Modelljahr 1984 die für Meereshöhe geltenden Standards auch in jeder Höhe über N.N. zu erfüllen.

Eine Übersicht der chronologischen Folge aller Gesetz gewordenen 49-Staaten-Emissionsgrenzwerte für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren einschließlich wesentlicher Randbedingungen findet sich in Bild II.6-7.

Am Beispiel des Partikel-Standards, der zunächst ab Modelljahr 1981 (0.6 g/m) und ab Modelljahr 1983 (0.2 g/m) vorgeschlagen war, dann aber aufgrund von Hearings im März 1979 auf Modelljahr 1982 (0.6 g/m) und ab Modelljahr 1985 (0.2 g/m) verschoben wurde und der zunächst mit dem für Diesel-Motoren sehr scharfen  $\text{NO}_x$ -Grenzwert von 1.0 g/m gekoppelt war (erst in Hearings im Juni 1979 in Washington gelang es der Automobilindustrie, einen Aufschub dieses  $\text{NO}_x$ -Standards zumindest bis zum Modelljahr 1983 und einen Zwischengrenzwert von 1.5 g/m zu erreichen), wurde besonders deutlich, daß es bei der Betrachtung von Emissionsgrenzwerten stets darauf ankommt, die gesamte anzuwendende Grenzwertgruppe gemeinsam zu berücksichtigen, um die tatsächlich von den Grenzwerten ausgehende Belastung des Automobilherstellers abschätzen zu können.

An dieser Stelle muß auch darauf hingewiesen werden, daß sich der tatsächlich vom Automobilhersteller zu erbringende Gesamt-Aufwand für die Zulassung seiner Fahrzeuge nicht allein durch eine Diskussion der in diesem Kapitel behandelten Emissions-Grenzwerte beschreiben läßt.

Zur Beurteilung dieses Gesamtaufwandes ist die gleichzeitige Beachtung aller gesetzlichen Forderungen (d. h. auch der in Teil III dieser Arbeit behandelten Auflagen der Zertifizierung zum Nachweis der Gesundheitsunschädlichkeit des Abgases, der Forderungen zum Einreichen von Status Reports oder zur Teilnahme an Hearings etc.) erforderlich.

#### 6.2.3.4 Grenzwerte für Abgas-Emissionen (außerhalb der Zertifizierungstest-Bedingungen)

Als (im internationalen Vergleich gesehen) einmalige Besonderheit hatte die US-EPA

Test-Art	Schadstoff [g/m]	Modelljahr 1980				Modelljahr 1981 und folgende			
		Temperaturen der Testpunkte [°C]				Temperaturen der Testpunkte [°C]			
		- 6,7	10	23,9	43,3	- 6,7	10	23,9	43,3
FTP <sup>1)</sup>	HC	—	0,48	0,41	0,40	—	0,48	0,41	0,40
	CO	12,3	9,7	7,0	—	6,0	4,7	3,4	—
	$\text{NO}_x$	—	2,4	2,0	—	—	1,2	1,0	—
HFET <sup>2)</sup>	HC	—	—	0,2	—	—	—	0,2	—
	CO	—	—	2,9	—	—	—	1,4	—
	$\text{NO}_x$	—	—	2,2	—	—	—	1,1	—
NYCC <sup>3)</sup>	HC	—	—	0,86	—	—	—	0,86	—
	CO	—	—	16,1	—	—	—	7,8	—
	$\text{NO}_x$	—	—	2,1	—	—	—	1,0	—

1) FTP = Federal Test Procedure; 2) HFET = Highway Fuel Economy Test; 3) NYCC = New York City Cycle.

**Bild II.6-8:** Grenzwerte für Abgastests unter Nicht-FTP-Bedingungen, wie von der EPA zunächst ab Modelljahr 1980 vorgeschlagen, im November 1978 jedoch für unbestimmte Zeit zurückgezogen, nach [353].

ab Modelljahr 1979 zunächst zusätzlich zur übrigen Gesetzgebung noch die Erfüllung bestimmter Emissionsgrenzwerte auch außerhalb der vom Zertifizierungstest abgedeckten Umweltbedingungen gefordert.

Während Fahrzeuge im gültigen Zulassungstest in einem Temperaturbereich zwischen 20 und

30 °C den Nachweis der Grenzwertbefreiung erbringen müssen, wären durch die neuen Forderungen bestimmte (neue) Grenzwerte bei höheren und tieferen Umgebungstemperaturen zu erfüllen gewesen. Damit hätte das Zertifizierungsverfahren Umgebungsbedingungen von -6,7 °C bis +43,3 °C abgedeckt und "Auxiliary Emission Control Devices" (Hilfsschaltungen für die Emissionskontrollanlage) hätten eventuell neu ausgelegt werden müssen (in diesem Zusammenhang sei auf Teil III dieser Arbeit, Kap. 5.3.1.2 verwiesen, in dem derartige Schaltungen zur Steuerung der Emissionskontrollanlagen und die damit verbundenen Probleme detailliert behandelt werden).

Eine Zusammenstellung der vorgeschlagenen zusätzlichen Zertififikations-Forderungen ist in Bild II.6-8 gegeben, wobei darauf hingewiesen werden muß, daß der Vorschlag im November 1978 zunächst wieder auf unbestimmte Zeit zurückgezogen wurde.

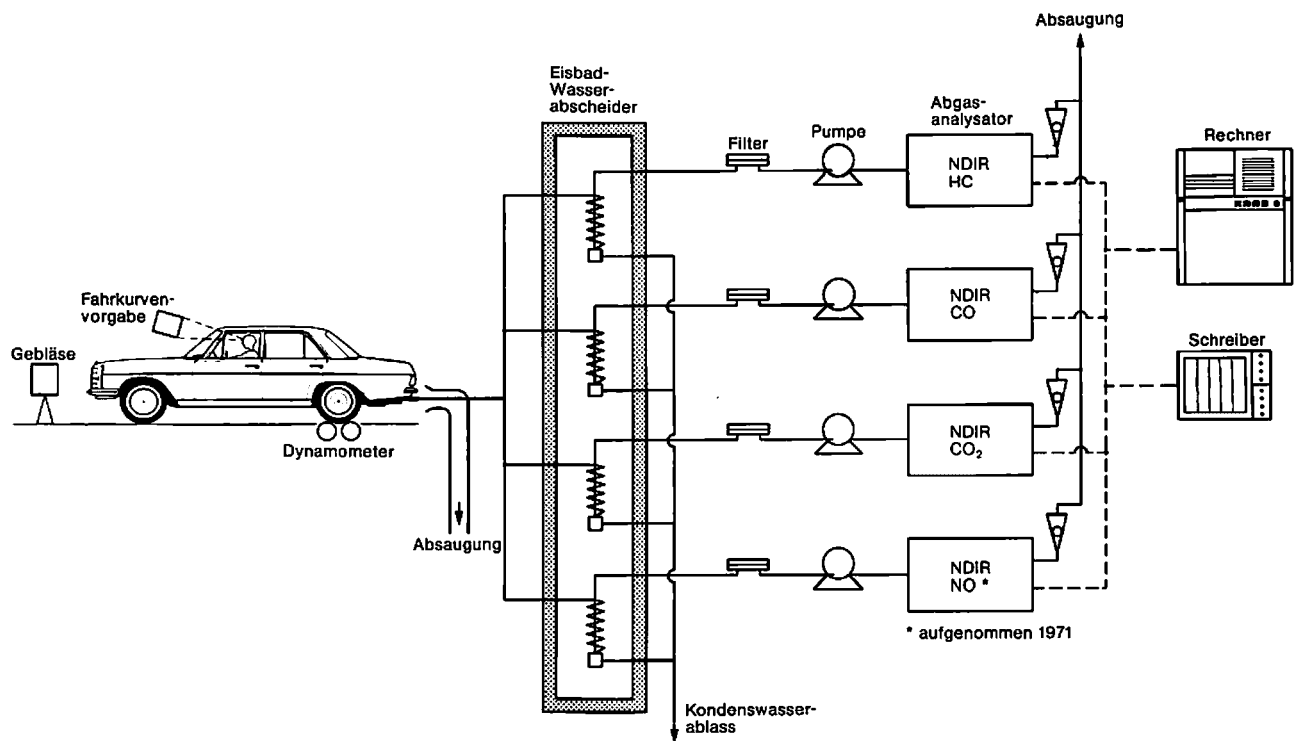
### 6.3 Entwicklung der Emissions-Testverfahren unter kalifornischer Gesetzgebung: Die Konzentrationsmessung ab Modelljahr 1966

In engem Zusammenhang mit den obengenannten Testmethoden stehen die bei diesen Verfahren angewendeten Fahrmodi und Fahrzyklen auf der Straße oder auf einem Fahrzeug-Rollenprüfstand. Die Fahrzustände des zu testenden Automobils und die angewendeten Fahrzyklen seien in diesem Kapitel jedoch nur namentlich und ohne Erläuterungen genannt, da sie in Kap. 6.5 separat und detailliert behandelt werden.

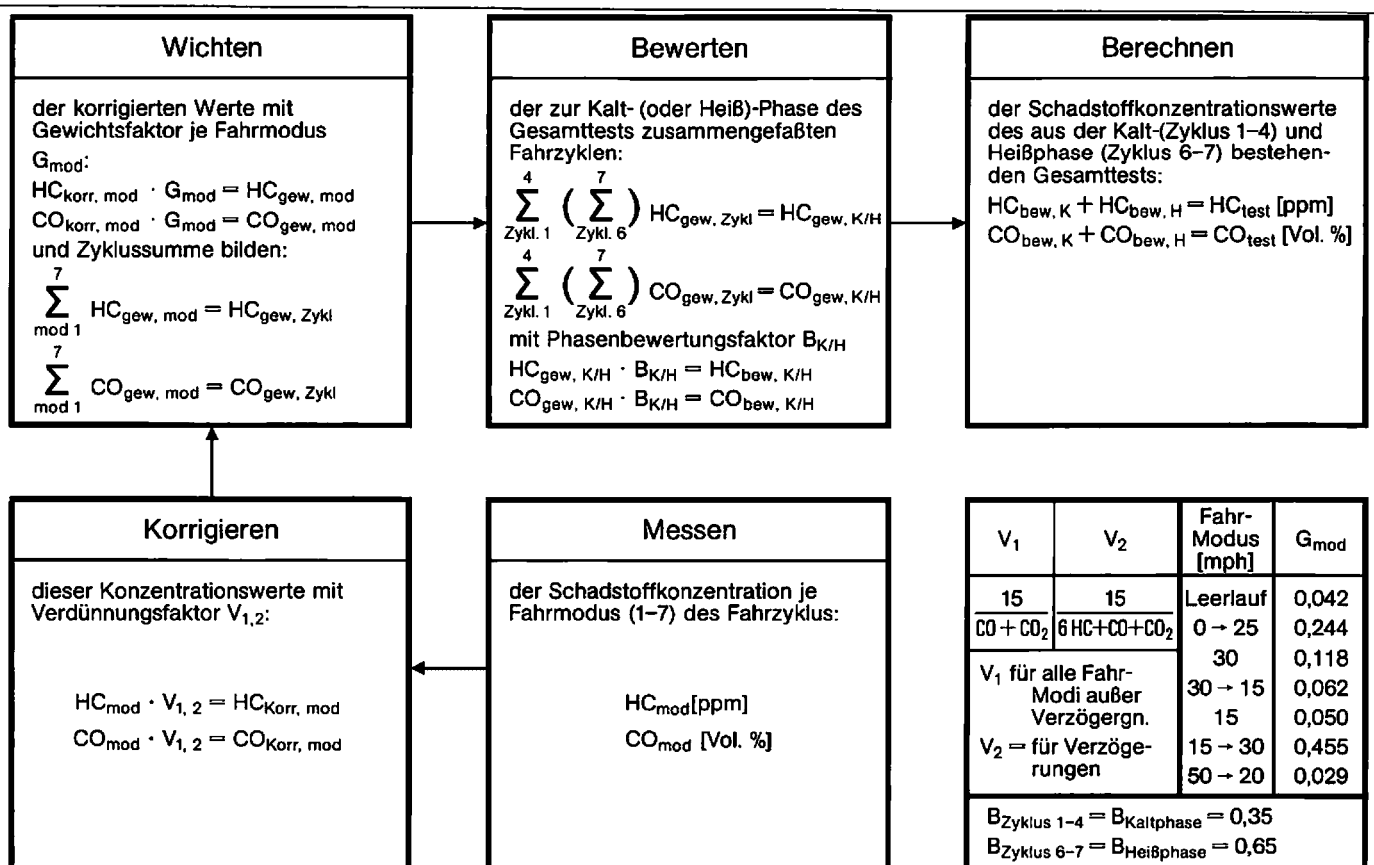
Kalifornien führte nicht nur die ersten Emissionsgrenzwerte der Welt für Automobile ein, sondern etablierte auch die ersten Test- und Analyseverfahren zur Ermittlung der Schadstoffemissionen im motorischen Abgas. So verabschiedete das CMVPCB bereits am 19. Mai 1961 detaillierte Vorschriften zur Durchführung von Abgastests an Pkw {353}.

Bei allen untersuchten Fahrmodi auf der Straße sowie bei der Durchführung von Fahrzyklen auf Rollenprüfständen basierte in den Anfangszeiten der Emissionsuntersuchungen und -zertifikationen die Ermittlung der Schadstoff-Anteile im Automobilabgas auf einer unverdünnten Konzentrationsmessung. Die Bestimmung der HC- und CO-Werte erfolgte mit NDIR ("Non Dispersive Infrared")-Geräten, wobei HC als n-Hexan gemessen wurde. Der Aufbau einer entsprechenden, ab Modelljahr 1966 zur Zertifizierung von Pkw verwendeten Meßanlage, ist in Bild II.6-9 dargestellt.

Ein Berechnungsschema des "Kalifornien-Test" ist in Bild II.6-10 wiedergegeben. Der hierbei als Bewertungsfaktor bezeichnete Ausdruck ( $G_{\text{mod}}$ ) wichtet alle zu diskreten Zeiten gemessenen Volumenkonzentrationswerte ( $HC_{\text{mod}}$ ), ( $CO_{\text{mod}}$ ) nach deren vorangegangener Korrektur auf das Luftverhältnis  $\lambda = 1$  (durch  $V_1$  oder  $V_2$ ) und entspricht für die jeweilige Betriebsphase dem prozentualen Anteil vom statistisch ermittelten Gesamtabgasvolumen. Da das effektiv ausgestoßene Gasvolumen pro Betriebsphase eines beliebigen Fahrzeugs sich nur ungenügend mit dem statistischen Prozentwert deckt, konnte der für die Zertifikationen der Modelljahre 1966 und 1967 verwendete Kalifornien-Test keine echte Aussagen über den wirklichen Massenausstoß von CO oder HC pro Zeiteinheit oder pro Test erbringen.



**Bild II.6-9:** Aufbau der Abgasmeßtechnik für die Zertifizierung von PKW mit Otto-Motoren in Kalifornien von Modelljahr 1966 bis 1971 und in den 49 Staaten der USA von Modelljahr 1968 bis 1971, nach [354].



**Bild II.6-10:** Berechnung der Schadstoffemissionen (auf Konzentrationsbasis) im Kalifornien-Test (mit 7-mode Fahrzyklus) für die Modelljahre 1966-1969, nach [355].

## 6.4 Entwicklung der Emissions-Testverfahren unter Bundes-Gesetzgebung

Die Bundesbehörden übernahmen nur in den ersten beiden Modelljahren ihrer Emissionskontrollgesetzgebung (1968/69) das kalifornische Meßverfahren unverändert. Aufbauend auf den kalifornischen Grundlagen versuchten sie dann, ab Modelljahr 1970 aus der Konzentrationsmessung eine Bewertung der Massenemission abzuleiten und führten schließlich ab Modelljahr 1972 die "wahre Massenemissionsmessung" ein.

### 6.4.1 Die Konzentrationsmessung mit Staffelung der Grenzwerte nach dem Hubraum ab Modelljahr 1968

Da das Hubvolumen sowie die Leistung und der Kraftstoffverbrauch von Motoren sehr stark variieren, schwankt typabhängig auch das Abgasvolumen. Die am 30. März 1966 durch Annahme von 45 CFR Part 85 für die Modelljahre 1968 und 1969 von der Bundesgesetzgebung eingeführten Vorschriften versuchten, diesem Mangel durch Staffelung der Grenzwerte in Abhängigkeit vom Hubraum zu begegnen und den geringeren Abgasvolumenstrom von kleineren Motoren zu berücksichtigen. Der Kalifornien-Test und sein Berechnungsverfahren wurden jedoch zunächst noch unverändert übernommen {349, 356}.

### 6.4.2 Die Konzentrationsmessung mit Umrechnung auf Massenbasis ab Modelljahr 1970

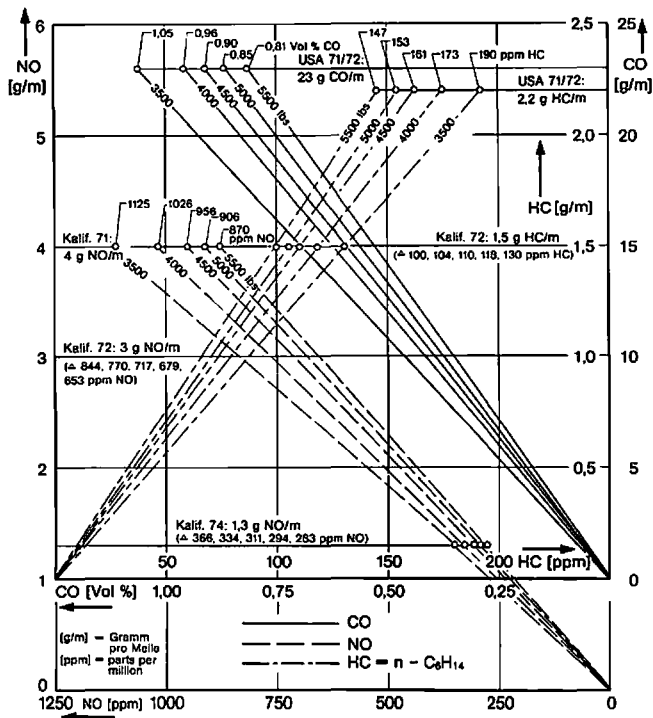
Am 04.06.1968 wurde 45 CFR Part 85 abermals ergänzt, um die Emissionskontrollgesetzgebung für Modelljahr 1970 zu revidieren und neue Vorschriften zur Begrenzung von Kraftstoffverdunstungsverlusten für Modelljahr 1971 einzubeziehen. Die neuen "Abgas-Vorschriften" basierten nach wie vor auf dem 7-mode-Kalifornientest, die gemessenen Emissionswerte wurden jedoch in Masseneinheiten ausgedrückt. Diese Änderung wurde erreicht, indem die als Konzentrationen ermittelten Gesamttestergebnisse (HC, CO) mit dem nach einer empirisch gefundenen Formel berechneten Abgasvolumen umgeformt wurden. Diese Formel nahm das Abgasvolumen als Funktion von Fahrzeugmasse und Getriebeart an und basierte auf einem mittleren Fahrzeug der 4000 lbs. (1814 kg) Klasse {349}. Die Umrechnung auf Massenbasis ist in Bild II.6-11 veranschaulicht.

Massen-Emission [g/m]	Umrechnungsformel für Konzentrationswerte aus der Kalifornien-Test Berechnung der Modelljahre 1966 bis 1969
HC	$\frac{HC_{Konz}}{10^6} \cdot (1,8 \cdot 6)^{11} \cdot \text{spez. Abgasvolumen} \cdot \text{Dichte HC}$
CO	$\frac{CO_{Konz}}{10^2} \cdot \text{spez. Abgasvolumen} \cdot \text{Dichte CO}$
NO	$\frac{NO_{Konz}}{10^6} \cdot \text{spez. Abgasvolumen} \cdot \text{Dichte NO}_2 \cdot K^2$
Erläuterungen	
Dichte [lb/cu. ft.] bei 20° C/1.013 bar	
Abgasvolumenstrom [cu. ft./Meile]	
HC	für Fzge. m. autom. Getriebe
CO	für Fzge. m. mech. Getriebe
NO <sub>2</sub>	
16,33	32,97
54,16	
C/H-Verhältnis 1 : 1,85	
W = Äquivalente Schwungmasse [lbs]	
1) Faktor 1,8 zur Umrechnung von HC <sub>NPD</sub> auf HC <sub>FIP</sub> ; Faktor 6 zur Umrechnung von molarer auf C-Atom Basis. 2) Korrekturfaktor K = 0,796 + 0,00175 · H + 0,0000129 · H <sup>2</sup> mit H [grains H <sub>2</sub> O/lb dry air] = Feuchte beim Test.	

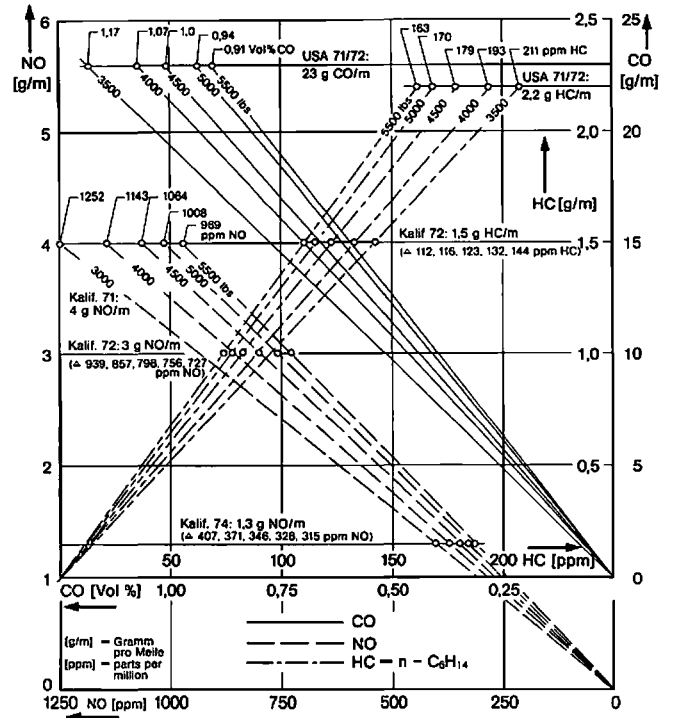
Zur weiteren Erläuterung sind in Bild II.6-12 und in Bild II.6-13 die Beziehungen zwischen Fahrzeugmasse (dargestellt durch seine Äquivalenzmasse in [lbs] für die Rollenprüfstandsbelastung), Volumenkonzentration und Massenemission graphisch aufgetragen.

Durch Multiplikation der im Kalifornientest ermittelten Volumenkonzentrationswerte mit einem mittleren rechnerischen Abgasvolumen ließen sich bei Bezug auf die im Test zurückgelegte Fahrstrecke für alle Pkw

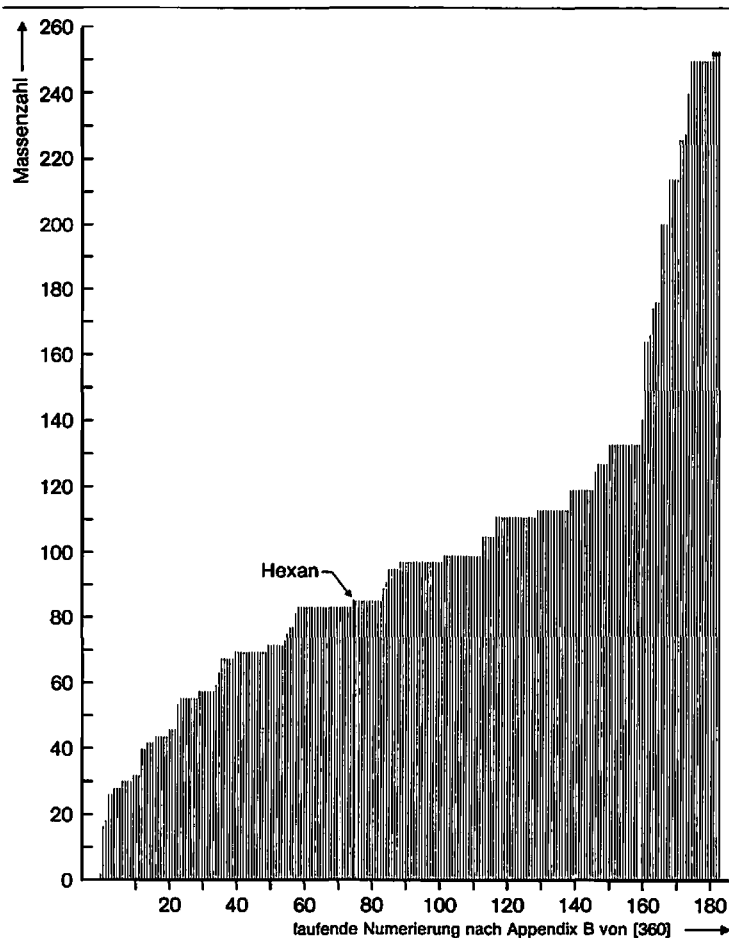
**Bild II.6-11:** Umrechnung der Kalifornien-Test Ergebnisse von Konzentrations- auf Massenbasis für die Modelljahre 1970 und 1971, nach [357].



**Bild II.6-12:** Beziehung zwischen Massen-Emission [g/m] und Volumenkonzentration [ppm] in Abhängigkeit von der Ersatzmasse [lbs] für Fahrzeuge mit automatischer Getriebebeschaltung mit Angabe der dazugehörigen Grenzwerte, [358].



**Bild II.6-13:** Beziehung zwischen Massen-Emission [g/m] und Volumenkonzentration [ppm] in Abhängigkeit von der Ersatzmasse [lbs] für Fahrzeuge mit handgeschaltetem Getriebe mit Angabe der dazugehörigen Grenzwerte, [358].



**Bild II.6-14:** Aus dem Auspuff emittierte Substanzen nach steigender Massenzahl geordnet, nach [360].

wieder Einheitsgrenzwerte in [g/m] festlegen.

Eine weitere meßtechnische Veränderung war der Übergang von NDIR auf FID ("Flame Ionization Detector")-Geräte bei der HC-Bestimmung. Dieser Übergang war erforderlich, da sich die zuvor praktizierte Messung des HC-Gehaltes auf der Basis des Paraffinvertreterers n-Hexan mit NDIR-Analysatoren als unzureichend erwiesen hatte.

Die Problematik der Hexanmessung wird klar, wenn man bedenkt, daß ein NDIR-Gerät aufgrund seines Meßprinzips nur annähernd die Summe der Paraffine im Abgas quantitativ zu erfassen vermag. Die nachweislich an der Smogbildung beteiligten Olefine und Aromaten werden ungenügend oder gar nicht angezeigt.

Ethylen, Ethen und Benzol werden

auf einem mit n-Hexan sensibilisierten NDIR-Analysator nur mit 10 bis 15 % vom theoretischen Anzeigewert erfaßt {359}.

Anhand der in Bild II.6-14 gezeigten Vielzahl der im Auspuffgas identifizierten, nach steigender Molekularmasse geordneten, organischen Verbindungen und der eingezeichneten Hexan-Lage wird deutlich, daß bei HC-Senkung auf n-Hexan-Messung zwar eine Senkung des Paraffingehaltes im Abgas nachgewiesen werden, ein eventueller Anstieg der reaktiven Olefine aber unerfaßbar bleiben kann.

#### 6.4.3 Die direkte Massenemissionsmessung

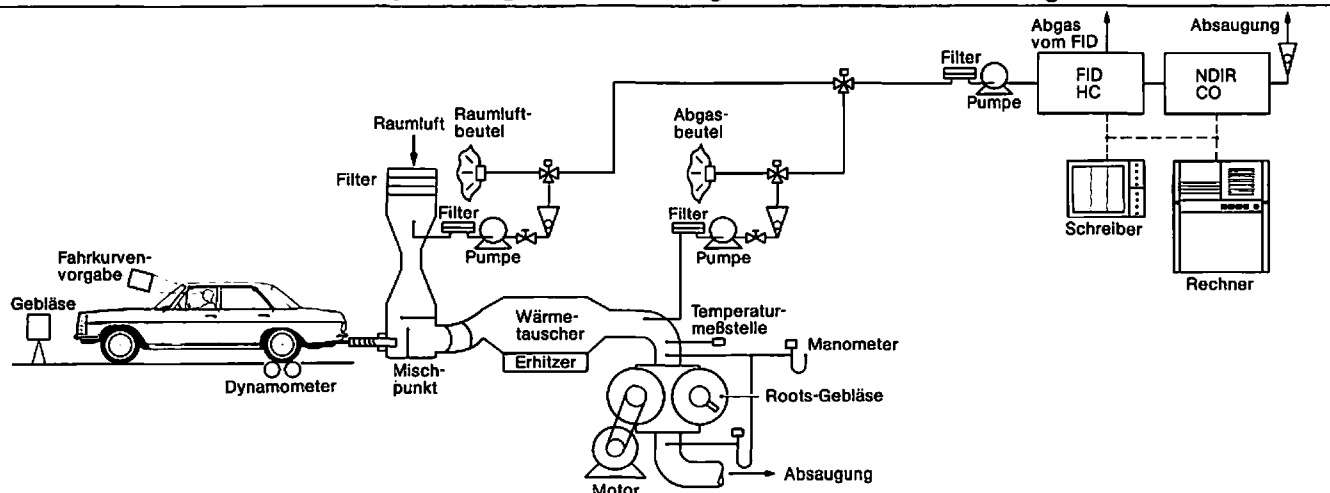
Den Bundesbehörden war bekannt, daß die auf Massenbasis erlassenen Grenzwerte, die auf einem berechneten (mittleren) Abgasvolumen beruhten, keine gleiche Behandlung aller Fahrzeuggrößen darstellte. So kündigte man schon 1968 die Entwicklung einer wahren Massenemissionsmessung zum vorgesehenen Einsatz ab Modelljahr 1972 an. Diese Ankündigung wurde im November 1968 auch dem CARB mitgeteilt und am 3. April und 25. Juni 1969 allen Automobilherstellern ebenfalls als Vorabinformation zugeleitet {349}.

##### 6.4.3.1 Die CVS-C-Methode ab Modelljahr 1972

Das neue Verfahren verwendete einen CVS ("Constant Volume Sampler") zur Messung des Abgasvolumens mit proportionaler Probeentnahme und einen FID zur Gesamt-HC-Messung. Der Aufbau einer solchen Anlage ist in Bild II.6-15 dargestellt. Mit Einführung der CVS-Technik wurde auch der Einsatz eines "nicht-wiederholenden" und "geschlossenen" Fahrzyklus zur Emissionsmessung (LA-4-Zyklus) praktikabel. Die Entstehungsgeschichte dieses Zyklus wird in Kap.6.6.1 hergeleitet. Das CVS-C (Cold Start) genannte Verfahren bestimmte die Gesamtabgasemission des Fahrzeuges genauer als die bisherigen Methoden, da

- wirkliches individuelles Abgasvolumen berücksichtigt,
- Startemissionen eingeschlossen und
- variable Fahrzustände erfaßt wurden.

An "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen (d. h. an Fahrzeugen mit und ohne



**Bild II.6-15:** Aufbau der Abgasmeßtechnik für die Zertifizierung von PKW mit Otto-Motoren in den USA im Modelljahr 1972, nach [361].

Maßnahmen zur Emissionssenkung) durchgeführte Tests hatten gezeigt, daß die nach der CVS-C-Methode ermittelten Emissionen größer waren als nach dem 7-mode-Test. Es zeigte sich außerdem, daß der Korrelationskoeffizient (CVS-C/7-mode) für gereinigte Fahrzeuge höher war als für ungereinigte. Detaillierte Tests an gereinigten Wagen hatten ergeben, daß die Abgasvolumenströme erheblich höher waren (besonders in Fahrzuständen mit geringem Gasdurchsatz) als diejenigen, die an unbehandelten Fahrzeugen als Basis der Bewertungsfaktoren für die Konzentrationswerte des 7-mode-Tests gedient hatten. So ergaben nach Herstellerangabe eingestellte Fahrzeuge des Modelljahres 1970 im Leerlauf Abgasvolumenströme bis zu 651 l/min. Der typische Abgasvolumenstrom, der den Gewichtungsfaktoren (die zur Korrektur der Konzentrationswerte des 7-mode-Tests verwendet wurden) zugrunde gelegt worden war, betrug dagegen nur 193 l/min [362].

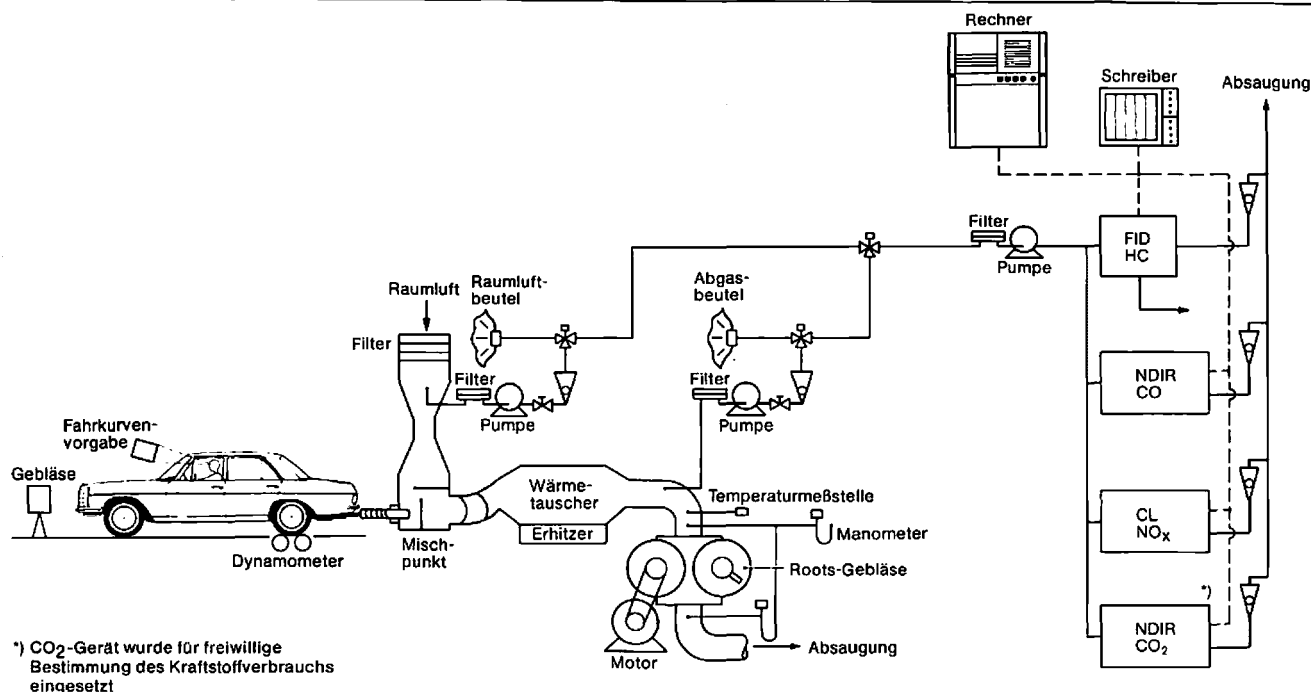
Da die Konzentrationsmessung der 7-mode-Testprozedur Änderungen des Abgasvolumenstroms durch Abgasreinigungsmaßnahmen nicht berücksichtigt hatte, schloß man daraus, daß sie die wirklichen Emissionen von gereinigten Fahrzeugen, gegenüber denen von unbehandelten Fahrzeugen, unterbewertet hatte [362]. Ein Rechenbeispiel nach der CVS-C-Methode ist in Bild II.6-16 wiedergegeben.

Haupt-Formeln	Neben-Formeln	Rechenbeispiel
$\textcircled{1} \text{ HC}_{\text{mass}} = V_{\text{mix}} \times D_{\text{HC}} \times \frac{\text{HC}_{\text{conc}}}{10^6} \quad [\text{g/m}]$ $\textcircled{2} \text{ CO}_{\text{mass}} = V_{\text{mix}} \times D_{\text{CO}} \times \frac{\text{CO}_{\text{conc}}}{10^2} \quad [\text{g/m}]$ $\textcircled{3} \text{ NO}_x \text{ mass} = V_{\text{mix}} \times D_{\text{NO}_x} \times \frac{\text{NO}_x \text{ conc}}{10^6} \times K_H \quad [\text{g/m}]$	$V_{\text{mix}} = K_1 \times V_0 \times N \times \frac{P_B - P_i}{T_p} \quad \left[ \frac{\text{cu.ft.}}{\text{m}} \right]$ $K_1 = \frac{528^\circ \text{R}}{760 \text{ mm Hg} \times 7.5 \text{ miles}} = 0.09263$ $K_H = \frac{1}{1 - 0.0047 (H - 75)}$ $H = \frac{(43.478) R_a \times P_d}{P_B - (P_d \times R_a / 10^2)} \quad \left[ \frac{\text{grains H}_2\text{O}}{\text{lb dry air}} \right]$	<p><b>Umgebungs-Meßwerte</b></p> <p><math>V_0</math> = 0.265 cu.ft./Umdr.  <math>N</math> = 20 250 Umdr.  <math>R_a</math> = 65%  <math>P_d</math> = 22.225 mm Hg  <math>P_i</math> = 24 mm Hg  <math>T_p</math> = 550 °R  <math>P_B</math> = 754 mm Hg</p> <p><b>Abgas-Meßwerte</b></p> <p><math>\text{HC}_{\text{conc}}</math> = 160 ppm (C-Äquivalent)  <math>\text{CO}_{\text{conc}}</math> = 0.09%  <math>\text{NO}_x \text{ conc}</math> = 70 ppm</p>
Erläuterungen	Erläuterungen	Berechnungen
<p><math>\text{HC}_{\text{mass}}</math>: HC-Massenemission [g/m] (ebenso: CO, <math>\text{NO}_x</math>)</p> <p><math>D_{\text{HC}}</math>: HC-Dichte im Abgas bei einem angenommenen mittleren C/H-Verhältnis des Kraftstoffes von 1:1.85 und bezogen auf 68 °F sowie 760 mm Hg (16.33 [g/cu.ft.])</p> <p><math>D_{\text{CO}}</math>: entsprechend; (32.97 [g/cu.ft.])</p> <p><math>D_{\text{NO}_2}</math>: entsprechend; (54.16 [g/cu.ft.])</p> <p><math>\text{HC}_{\text{conc}}</math>: HC-Konzentration des verdünnten Abgases minus HC-Konzentration der Verdünnungsluft; (ebenso: CO, <math>\text{NO}_x</math>);  Bei HC: in [ppm] C-Äquivalent, d. h. Propanmeßwert x 3</p>	<p><math>V_{\text{mix}}</math>: Gesamtvolumen des verdünnten Abgases auf Standardbedingungen (528 °R, 760 mm Hg) korrigiert</p> <p><math>V_0</math>: Von der Verdünnungspumpe gefördertes Gasvolumen [cu.ft./Umdr.], abhängig vom Druckgefälle vor/nach Pumpe</p> <p><math>N</math>: Anzahl Pumpenumdrehungen während Probenahmezeit des Abgastests</p> <p><math>P_B</math>: Barometrischer Luftdruck [mm Hg]</p> <p><math>P_i</math>: Druckabfall unter Atmosph.-Druck vor Pumpe</p> <p><math>T_p</math>: mittlere Temperatur des in die Pumpe eintretenden Gases während Probenahmezeit des Tests [°R]</p> <p><math>K_H</math>: Luftfeuchte-Korrekturfaktor</p> <p><math>H</math>: absolute Luftfeuchte [grains <math>\text{H}_2\text{O}</math>/lb dry air]</p> <p><math>R_a</math>: relative Luftfeuchte [%]</p> <p><math>P_d</math>: Sättigungsdampfdruck [mm Hg] bei Temperatur des trockenen Thermometers</p>	<p><math>V_{\text{mix}}</math> = 659.8 cu.ft./m  <math>H</math> = 85 grains <math>\text{H}_2\text{O}</math>/lb. dry air  <math>K_H</math> = 1.049  <math>\text{HC}_{\text{mass}}</math> = 1.72 g/m  <math>\text{CO}_{\text{mass}}</math> = 19.53 g/m  <math>\text{NO}_x \text{ mass}</math> = 2.62 g/m</p>

**Bild II.6-16:** Beispiel einer Massenenmissionsberechnung nach dem CVS-C-Verfahren bis einschließlich Modelljahr 1974 und Verwendung einer PDP („Positive Displacement Pump“) zur Abgasverdünnung, nach [363].

#### 6.4.3.2 Die CVS-C-Methode mit $\text{NO}_x$ -Messung für die Modelljahre 1973 und 1974

Ab Modelljahr 1973 wurde das Testverfahren durch Einführung eines Chemolumineszenzgerätes (CL) zur  $\text{NO}_x$ -Messung erweitert. Das Schema der entsprechenden Anlage ist in Bild II.6-17 gezeigt.



**Bild II.6-17:** Aufbau der Abgasmeßtechnik für die Zertifizierung von PKW mit Otto-Motoren in den USA für die Modelljahre 1973 und 1974, nach [364].

#### 6.4.3.3 Die CVS-CH-Methode ab Modelljahr 1975 für Pkw mit Otto-Motoren

Das APRAC ("Air Pollution Research Advisory Committee")-Projekt "CAPE-10" des CRC ("Coordinating Research Council") hatte ergeben, daß Fahrzeuge im Los Angeles Stadtverkehr im Durchschnitt für 4,7 Fahrten pro Tag benutzt wurden. Davon begannen normalerweise eine Fahrt nach einer Nacht-Standzeit, die restlichen 3,7 Fahrten zwischen Kalt- und Heißstart [365]. Man legte fest, daß bei einer der 3,7 Fahrten noch-

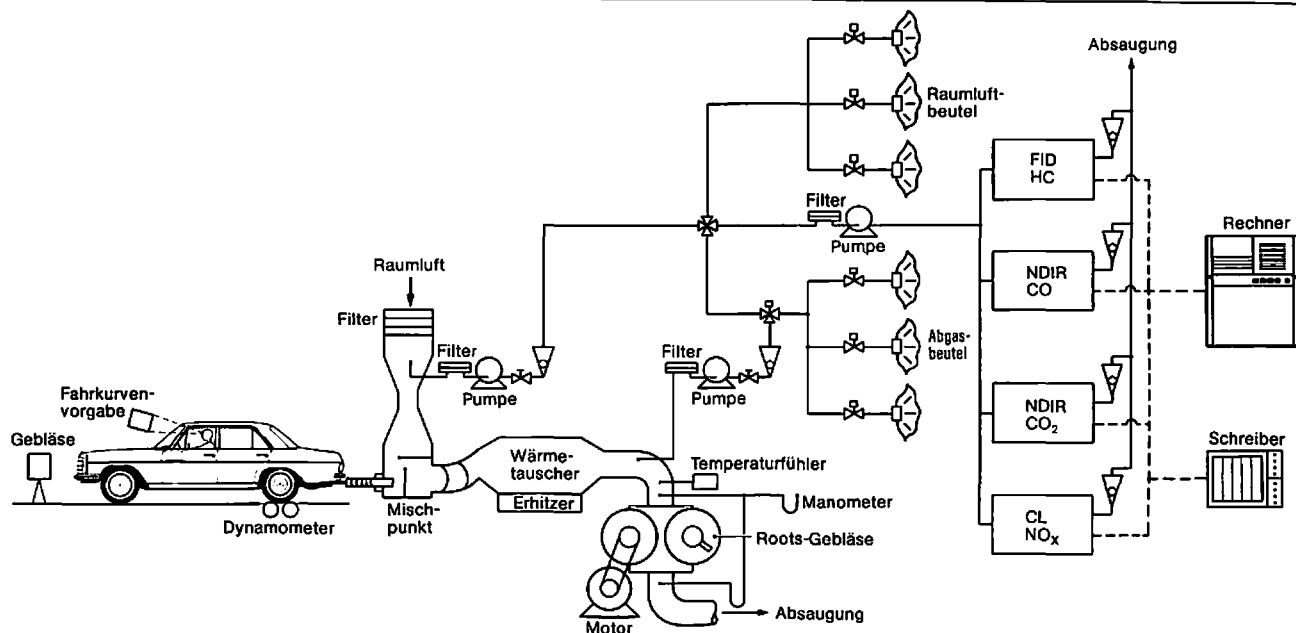
Haupt-Formeln	Neben-Formeln	Rechenbeispiel
$① Y_{wm} = \frac{(0.43 Y_{ct} + 0.57 Y_{ht} + Y_s)}{7.5} \quad [g/m]$ $② HC_{mass} = V_{mix} \times D_{HC} \times \frac{HC_{conc}}{10^6} \quad [g/m]$ $③ CO_{mass} = V_{mix} \times D_{CO} \times \frac{CO_{conc}}{10^6} \quad [g/m]$ $④ NO_{x\ mass} = V_{mix} \times D_{NO_x} \times \frac{NO_{x\ conc}}{10^6} \times K_H \quad [g/m]$	$V_{mix} = V_0 \times N \times \frac{(P_B - P_i) (528^\circ R)}{760 \text{ mm Hg} (T_p)} \quad \left[ \frac{\text{cu.ft.}}{\text{Testphase}} \right]$ $K_H = \frac{1 - 0.0047 (H - 75)}{(43.478) R_a \times P_d}$ $H = \frac{P_B - (P_d \times R_a / 10^6)}{13.4} \quad \left[ \frac{\text{grains H}_2\text{O}}{\text{lb dry air}} \right]$ $DF = \frac{CO_2 + (HC + CO) \times 10^{-4}}{CO_2 + (HC + CO) \times 10^{-4}}$ $CO_e = (1 - 0.01925 CO_2 - 0.000323 R) CO_{em}$ $CO_d = (1 - 0.000323 R) CO_{dm}$	<p><b>Umgebungs-Meßwerte:</b>  <math>V_0 = 0.29344 \text{ cu.ft./Umdr.}</math>  <math>N = 10485 \text{ Umdr.}; R = 48\%; R_a = 48.2\%</math>  <math>P_B = 762 \text{ mm Hg}; P_d = 22.225 \text{ mm Hg};</math>  <math>P_i = 70 \text{ mm Hg}; T_p = 570^\circ R</math></p> <p><b>Abgas-Meßwerte:</b>  <b>● Kaltstart-Übergangsphase:</b>  <math>HC_0 = 105.8 \text{ ppm C-Äquivalent}</math>  <math>NO_{x\ 0} = 11.2 \text{ ppm}</math>  <math>CO_{em} = 306.6 \text{ ppm}; CO_2 = 1.43\%</math>  <math>HC_d = 12.1 \text{ ppm}</math>  <math>NO_{x\ d} = 0.8 \text{ ppm}</math>  <math>CO_{dm} = 15.3 \text{ ppm}</math></p> <p><b>Berechnungen:</b>  <math>V_{mix} = 2595.0 \text{ cu.ft./Phase}</math>  <math>K_H = 0.9424</math>  <math>CO_e = 293.4 \text{ ppm}; CO_d = 15.1 \text{ ppm}</math>  <math>DF = 9.116</math>  <math>HC_{conc} = 95.03 \text{ ppm};</math>  <math>HC_{mass} = 23.96 \text{ g/Phase}</math>  <math>CO_{conc} = 280 \text{ ppm};</math>  <math>CO_{mass} = 4.027 \text{ g/Phase}</math>  <math>NO_{x\ conc} = 10.49 \text{ ppm};</math>  <math>NO_{x\ mass} = 1.389 \text{ g/Phase}</math></p> <p><b>● Stabilisierte Phase (nur Endwerte)</b>  <math>HC_{mass} = 0.62 \text{ g/Phase}</math>  <math>CO_{mass} = 5.98 \text{ g/Phase}</math>  <math>NO_{x\ mass} = 1.27 \text{ g/Phase}</math></p> <p><b>● Heißstart-Übergangsphase (nur Endwerte)</b>  <math>HC_{mass} = 0.51 \text{ g/Phase}</math>  <math>CO_{mass} = 5.01 \text{ g/Phase}</math>  <math>NO_{x\ mass} = 1.38 \text{ g/Phase}</math></p> <p><b>Ergebnisse:</b>  <math>HC_{wm} = 0.352 \text{ g/m};</math>  <math>CO_{wm} = 2.55 \text{ g/m};</math>  <math>NO_{x\ wm} = 0.354 \text{ g/m}</math></p>
Erläuterungen	Erläuterungen	
$Y_{wm}$ : Gewichtete Massenemission je Schadstoff [g/m] $Y_{ct}$ : Massenemission während der Kaltstart-Übergangsphase („cold transient“) des Tests [g/m] $Y_{ht}$ : Massenemission während der Heißstart-Übergangsphase („hot transient“) des Tests [g/m] $Y_s$ : Massenemission während der stabilisierten („stabilized“) Phase des Kaltstarttests [g/m] $HC_{mass}$ : HC-Massenemission [g/Testphase] $D_{HC}$ : HC-Dichte im Abgas bei einem angenommenen mittleren C/H-Verhältnis des Kraftstoffes von 1:1.85 und bezogen auf 68° F sowie 760 mm Hg (16.33 [g/cu.ft.]) $D_{CO}$ : entsprechend; (32.97 [g/cu.ft.]) $D_{NO_2}$ : entsprechend; (54.16 [g/cu.ft.]) $HC_{conc}$ : HC-Konzentration des verdünnten Abgases um Emissionen aus der Umgebungsluft („background“) korrigiert: $HC_{conc} = HC_e - HC_d (1 - 1/DF)$ $HC_e$ : HC-Konz. im verdünnten Abgas [ppm C-Äquivalent, d.h. Propanmeßwert x 3] $HC_d$ : HC-Konz. in Verdünnungsluft; ebenso: $CO_d$ $NO_{x\ d}$ [ppm] $CO_{conc}$ : CO-Konz. des verdünnten Abgases um Wasserdampf, Umgebungswert und $CO_2$ korrigiert [ppm] $HC_{conc}$ : HC-Konz. des verdünnten Abgases um Umgebungswert korrigiert, in [ppm C] (d.h. Propan x 3) $NO_{x\ conc}$ : $NO_x$ -Konz. des verdünnten Abgases um Umgebungswert korrigiert [ppm]	$V_{mix}$ : Gesamtvolumen des verdünnten Abgases auf Standardbedingungen (528° R, 760 mm Hg) korrigiert $V_0$ : Von der Verdünnungspumpe gefördertes Gasvolumen [cu.ft./Umdr.], abhängig vom Druckgefälle vor/nach Pumpe $N$ : Anzahl Pumpenumdrehungen während Probenahmezeit des Abgastests $P_B$ : Barometrischer Luftdruck [mm Hg] $P_i$ : Druckabfall unter Atmosph.-Druck vor Pumpe $T_p$ : mittlere Temperatur des in die Pumpe eintretenden Gases während Probenahmezeit des Tests [°R] $K_H$ : Luftfeuchte-Korrekturfaktor $H$ : absolute Luftfeuchte [grains H <sub>2</sub> O/lb dry air] $R_a$ : relative Luftfeuchte [%] $P_d$ : Sättigungsdampfdruck [mm Hg] bei Temperatur des trockenen Thermometers $CO_e$ : CO-Konz. der verdünnten Abgasprobe auf Wasserdampf und $CO_2$ korrigiert [ppm]. Annahme: C/H = 1:1.85 $CO_{em}$ : CO-Konz. der verdünnten Abgasprobe [ppm] $CO_2$ : $CO_2$ -Konz. der verdünnten Abgasprobe [Mol %] $R$ : rel. Feuchte der Verdünnungsluft [%] $CO_{dm}$ : CO-Konz. der Verdünnungsluft $CO_{dm}$ : CO-Konz. der Verdünnungsluft [ppm] $CO_d$ : CO-Konz. der Verdünnungsluft um Wasserdampf korrigiert [ppm]	

**Bild II.6-18:** Beispiel einer Massenemissionsberechnung nach dem CVS-CH-Verfahren ab Modelljahr 1975 und Verwendung einer PDP („Positive Displacement Pump“) zur Abgasverdünnung, nach [366].

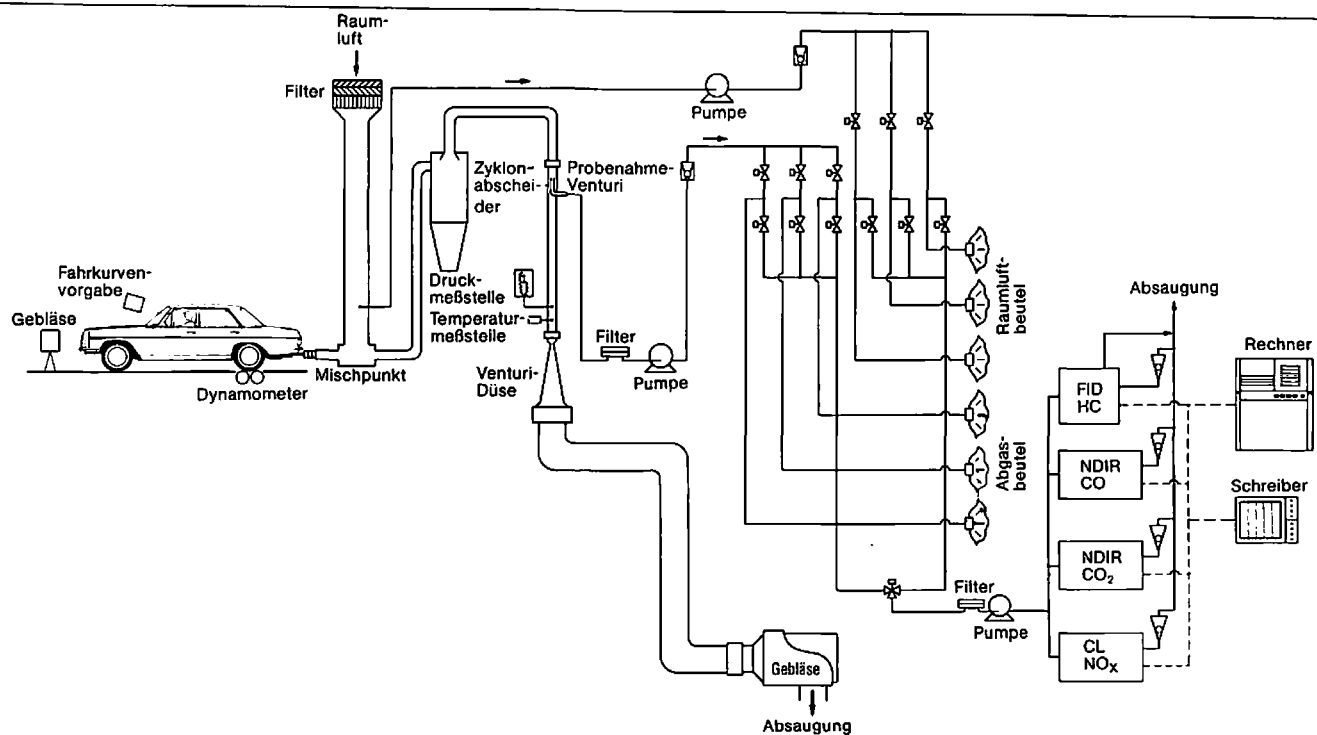


mals ein Kaltstart und bei den restlichen 2,7 Fahrten reine Heißstarts vorlagen. Die Kalt-/Heißanteil-Bewertungsfaktoren ergaben sich damit aus  $2,0 : 4,7 = 0,43$  für den Kaltstartanteil und  $2,7 : 4,7 = 0,57$  für den Heißstartanteil [365]. Diese Faktoren wurden in das CVS-Verfahren eingeführt. Ein Rechenbeispiel für die neue CVS-CH-Methode (Cold Start and Hot Start) ist in Bild II.6-18 gezeigt.

Mit der Einführung der Kalt/Heiß-Bewertung wurde auch das Analysenverfahren durch den Übergang von der 2-Beutel- auf die 6-Beutel-Methode erweitert. Erstmals wurde auch das von Philco-Ford entwickelte CFV ("Critical Flow Venturi")-Verdünnungsver-



**Bild II.6-19:** Aufbau der Abgasmeßtechnik für die Zertifizierung von PKW mit Otto-Motoren in den USA ab Modelljahr 1975 bei Verwendung des „Positive Displacement Pump“ (PDP)-Prinzips, nach [367].

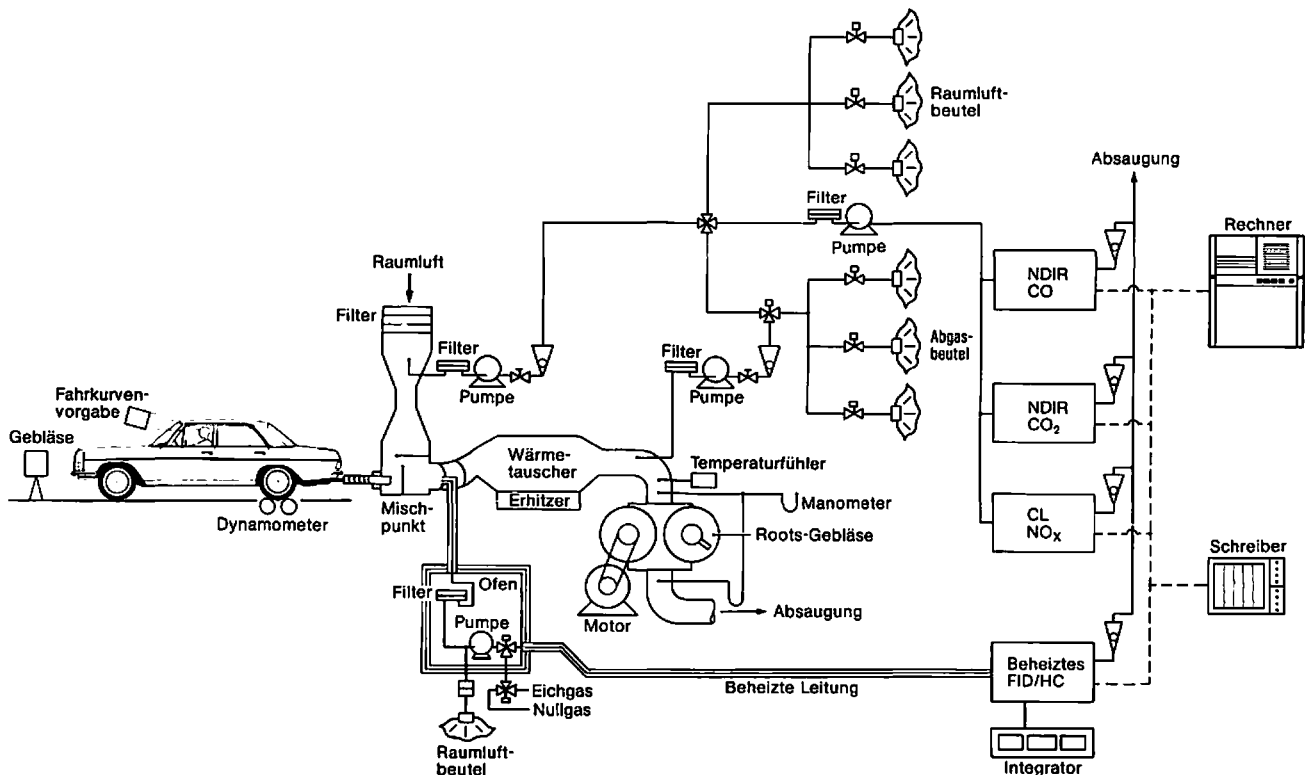


**Bild II.6-20:** Aufbau der Abgasmeßtechnik für die Zertifizierung von PKW mit Otto-Motoren in den USA ab Modelljahr 1975 bei Verwendung des „Critical Flow Venturi“ (CFV)-Systems, nach [368].

fahren alternativ zur bisher verwendeten PDP ("Positive Displacement Pump")-Methode eingeführt. Der Aufbau dieser beiden Meß- und Analysenanlagen ist in Bild II.6-19 und in Bild II.6-20 dargestellt.

#### 6.4.3.4 Die CVS-CH-Methode für Pkw mit Diesel-Motoren (49 Staaten ab Modelljahr 1975, Kalifornien ab Modelljahr 1980)

Bei Einbeziehung der Pkw mit Diesel-Motoren in die 49-Staaten-Gesetzgebung ab Modelljahr 1975 mußte die Probenahme- und Analysenanlage abermals modifiziert werden. Um ein Kondensieren der - im relativ kühlen - Dieselabgas vorhandenen unverbrannten Kohlenwasserstoffe in der Probenahmeleitung zu verhindern, mußte diese bis zum - ebenfalls geheizten - FID beheizt werden. Die entsprechende Testanlage ist in Bild II.6-21 gezeigt. Sie wurde in Kalifornien ebenfalls ab Miterfassung der Diesel-Pkw in der dortigen Emissionskontrollgesetzgebung (d. h. ab Modelljahr 1980) eingesetzt.



**Bild II.6-21:** Aufbau der Abgasmeßtechnik für die Zertifizierung von PKW mit Diesel-Motoren in den 49 Staaten der USA von Modelljahr 1975 bis 1981 und in Kalifornien ab Modelljahr 1980, nach [369].

#### 6.4.3.5 Die CVS-CH-Methode für Pkw mit Diesel-Motoren mit Partikel-Meßtechnik (49 Staaten und Kalifornien ab Modelljahr 1982)

Die bisher letzte Erweiterung erfuhr die CVS-CH-Methode aufgrund der Einbeziehung von Partikelemissions-Grenzwerten in die 49-Staaten-Emissionskontrollgesetzgebung ab Modelljahr 1982. Zur Sicherstellung einer realistischen (d. h. den Bedingungen in der freien Atmosphäre entsprechenden) Messung der im Abgasstrom schwebenden Partikeln wurde ein Verdünnungstunnel mit hoher innerer Turbulenz (Reynolds-Zahl  $> 40\,000$ ) in die Meßanlage integriert und die entsprechenden Filtermeßstellen zur Partikel-Sammlung ergänzt. Bild II.6-22 zeigt das Schema einer solchen Anlage.



Fahrzustand	Angaben über das Verkehrsverhalten in Los Angeles [%]	
	Vor-1956 Daten	1956 Daten
Leerlauf	18	15
Beschleunigung	18	36,7 25% von 0 auf 22 mph 75% von 23 auf 30 mph
Verzögerung	18	32,3 je ca. 33% von 50 auf 20, von 30 auf 15 und von 30 auf 0 mph
Konstantfahrt (mittlere Durchschnittsgeschw.)	46	16 mit ca. 30 mph im Los Angeles Großraum: ≈ 23 mph auf freiem Highway: ≈ 49 mph in verstopfter Innenstadt: ≈ 13 mph

**Bild II.6-23:** Prozentualer Anteil verschiedener Fahrzustände am Verkehrsfluß im Los Angeles County, nach [371, 372].

24 Std.- Verkehrs- Volumen [10 <sup>3</sup> Einheiten]	Verkehrsverteilung [%]		
	1951-Studie	1956 Route I	1956 Route I A
0- 5	24.07	23.53	9.28
5-10	14.22	13.21	13.70
10-15	14.88	14.06	14.71
15-20	13.13	14.01	12.86
20-25	11.38	16.80	20.28
25-30	9.19	6.84	5.29
30-35	5.91	5.32	5.86
35-40	2.84	2.79	4.00
40-50	2.19	1.90	6.52
50-60	0.66	0.52	1.23
> 60	1.53	1.01	6.26

**Bild II.6-24:** Vergleich der den ersten Untersuchungen der Los Angeles-Verkehrsverhältnisse zugrunde gelegten Verkehrsdichten, nach [374].

Fahrzustand [mph]		Beschleunigung [mph/s]	Erford. Zeit für Fahrzust.	Anteil an Gesamtzeit [%]	Anzahl d. erf. Fahrzust.-Wdhlg.	Tatsächliche Probenahmezeit je Zust. [s] [min]	
Leerlauf		0	—	15.0	—	273	4.6
Konstantfahrt	20	0	—	6.9	—	126	2.1
	30	0	—	5.7	—	104	1.7
	40	0	—	2.7	—	49	0.8
	50	0	—	0.7	—	13	0.2
Beschleunign.	0-60	3.0	20.0	1.1	1	20	0.3
	0-25	2.2	11.3	10.6	17	193	3.2
	15-30	1.2	12.5	25.0	36	455	7.6
Verzögerungen	50-20	1.2	25.0	10.2	7	185	3.1
	30-15	1.4	10.7	11.8	20	215	3.6
	30- 0	2.5	12.0	10.3	16	187	3.1
Gesamt		—	—	100.0	—	1820	30.3

**Bild II.6-25:** Kalifornischer 11-mode Straßentest mit proportionaler Abgasmessung, nach [372].

tische Methode zur Erfassung des Verkehrsverhaltens und der Datenverarbeitung finden, sondern auch eine passende Meßtechnik entwickeln. Das TSP entschied sich, den Saugrohrunterdruck als beschreibende Größe repräsentativer Fahrzustände zu verwenden und zusätzlich Geschwindigkeits-/Zeit-Aufschriebe heranzuziehen {371}.

Es wurde eine Standardstrecke festgesetzt, die den gesamten Los Angeles-Verkehr sowohl in der "rush hour" (d. h. in Verkehrsspitzenzeiten) wie auch in "off-peak"-Zeiten (d. h. während des Normalverkehrs) repräsentieren sollte {373}. Man ging bei dieser Festlegung von Erkenntnissen einer "Los Angeles County"-Studie aus dem Jahre 1951 aus. Experten des APCD und Verkehrsfachleute kamen jedoch überein, daß diese sogenannte "Route I" zu viele Straßen mit geringer Verkehrsgeschwindigkeit und zu wenig Schnellstraßenanteile enthielt. Daher wurde sie - als Grundlage für das 1956er Programm - zunächst modifiziert, wie der Verkehrsdichte-Vergleich im Bild II.6-24 zeigt. Die geänderte Streckenführung erhielt den Namen "Route I A". Vom Mai 1956 bis zum Februar 1957 führte das TSP 135 individuelle Tests auf dieser Strecke durch {375}.

Als Ergebnis seiner Arbeiten auf der "Route I A" schlug das TSP einen "11-mode-Test" vor, dessen Zusammensetzung in Bild II.6-25

wiedergegeben ist. Er bestand aus einer Aneinanderreihung verschiedener Fahrzustände, seine Gesamtdauer und die Reihenfolge der Fahrmodi waren nicht definiert. Sowohl während der Konstant- wie auch während der Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen erfolgte Messen des Gleichgewichts- oder Integralwertes der Emissionen für den jeweiligen Fahrzustand und nachträgliche Multiplikation mit dem prozentualen Zeitanteil dieser Phase am Gesamttest {372}. Die 11 Fahrzustände bildeten somit einen "offenen", nicht wiederholenden, nicht selbst bewertenden Test. Dieser "11-mode-Test" zeigte - verglichen mit früheren Abschätzungen des Los Angeles Verkehrsverhaltens - tatsächlich wesentliche Verschiebungen. Das TSP schließt seine Arbeiten mit dem Hinweis, daß die ausgewählten 11 Fahrzustände auf jeder Straße nachfahrbar seien und daß sie - wenn nötig - auch auf einem Rollenprüfstand im Labor gefahren werden können, was jedoch ursprünglich nicht für wünschenswert gehalten wurde. Die Emissionsermittlung am betriebswarmen Motor sollte nach diesem Test primär bei Fahrt auf der Straße erfolgen {376}.

Mit der Festlegung der obengenannten 11 Fahrzustände war die Grundlage zur Anwendbarkeit des im "California Health and Safety Code" (Div. 20, Chapter 3, Sec. 24386) für das CMVPCB vorgesehene Recht, Emissionskontrollsysteme zu zertifizieren, geschaffen {377}.

#### 6.5.2 Der kalifornische 7-mode-Zyklus für Rollenprüfstände

Die vom "California Department of Public Health" im Dezember 1959 angenommenen Emissionsgrenzwerte für Pkw (275 ppm HC und 1,5 Vol.% CO) bezogen sich grundsätzlich auf die in Kap. 6.5.2 beschriebenen 11 Fahrzustände. Wenn andere Testabläufe verwendet wurden, so mußten sie städtisches Fahrverhalten repräsentieren und die Emissionswerte mußten auf das zusammengesetzte Ergebnis aus diesen 11 Fahrmodi beziehbar sein.

Da sich die Emissionstests nach dem in Kap. 6.5.2 beschriebenen 11-mode-Programm auf der Straße als sehr aufwendig und störanfällig erwiesen (Wind, Verkehr, Instrumententransport etc.), wurde die Verlagerung der Testdurchführung auf einen Fahrzeugrollenprüfstand beschlossen {378}. Als nächster Schritt sollte dann auch die Einbeziehung des Kaltstarts zur besseren Beurteilungsmöglichkeit von Emissionskontrollsystemen erfolgen. Im Rahmen dieser Entscheidung begannen entsprechende Vergleichsarbeiten im Labor des LA-APCD, das im Vertragsverhältnis mit dem CMVPCB stand. Unterstützend halfen Vertreter der AMA, der "Standard Oil Company of California" und Personal des APCD selbst {378}.

Wie es sich als unpraktikabel erwiesen hatte, den im "Health and Safety Code" verankerten 11-mode-Straßentest zu Zertifizierungszwecken einzusetzen, so erwies es sich auch als unmöglich, die einzelnen Fahrzustände dieses Tests in ein geschlossenes Fahrprogramm für den Prüfstandsbetrieb mit gleichen Zeitverhältnissen ohne Hinzufügung von Übergangsmodi umzuwandeln. Da aber die Wirkung von Emissionskontrollsystemen vom jeweils vorausgehenden Fahrzustand mitbeeinflusst wird, mußte ein geschlosse-

Fahrzustand	Zeitlicher Anteil [%] bei Zyklus	
	7-Mode	11-Mode
Leerlauf	14.6	15.0
Konstantfahrt	21.9	16.0
Beschleunigung	31.4	36.7
Verzögerung	32.1	32.3
Gesamt	100.0	100.0

Bild II.6-26: Vergleich der zeitlichen Anteile verschiedener Fahrzustände zwischen 7- und 11-Mode Zyklus, nach [378].

ner Fahrzyklus entwickelt werden [378]. Obwohl man wußte, daß hierzu eigentlich ausgedehnte Studien des Fahrverhaltens nötig waren, entschied man sich damals - aus Mangel an anderen Möglichkeiten - zur theoretischen Zusammenstellung eines Fahrzyklus, der die Zeitverteilung der im "Health and Safety Code" vorgesehenen 11 Fahrzustände so gut wie möglich repräsentierte [378].

Dieser Zyklus war der sogenannte "7-mode-Zyklus". Er enthielt 7 der obengenannten 11 Fahrzustände, in einem Fall wurde eine 15 mph Konstantfahrt durch eine 20 mph Konstantfahrt ersetzt. Außerdem wurden - um das Programm kontinuierlich fahrbar zu machen - 3 "Brücken" eingefügt, die im 11-mode-Test nicht vorhanden gewesen waren [378]. Ein Vergleich dieses aus dem "offenen" 11-mode-Straßentest konstruierten "geschlossenen" Fahrzyklus wurde mit Katalysatorfahrzeugen (!) durchgeführt, deren ähnliches Ansprungsverhalten unter beiden Fahrbedingungen damals als Beweis gewertet wurde, tatsächlich einen repräsentativen Zyklus gefunden zu haben [378].

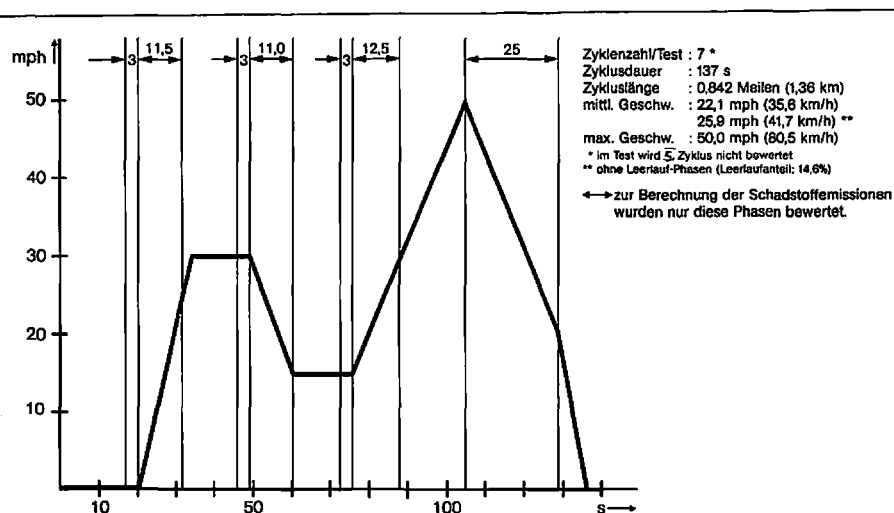


Bild II.6-27: Der Kalifornien 7-mode Zyklus, nach [379].

In Bild II.6-26 sind die Zeitverteilungen der einzelnen Fahrmodi zwischen dem ursprünglichen 11-mode-Straßentest und dem neuen 7-mode-Fahrzyklus verglichen. Die einzige größere Abweichung - bei Konstantfahrt - wurde als nicht sehr kritisch angesehen, da sich Konstantfahrten und leichte Beschleunigungen hinsichtlich Abgaszusammensetzung und Abgasvolumenstrom nicht sehr stark unterscheiden. Der "7-mode-Zyklus" ist mit seinen bewerteten Phasen in Bild II.6-27 gezeigt.

### 6.5.3 Der kalifornische 11-mode-Prüfstandszyklus und der erste Zertifikationszyklus

Nach Ableitung des "7-mode-Zyklus" wurde zunächst vorgeschlagen, zu Zertifikationszwecken ausschließlich diesen Fahrzyklus zu verwenden. Dieser Vorschlag wurde einer "Technical Advisory Group" zur Beurteilung zugeleitet, woraufhin die Anregung ein-

ging, daß alle 11 Fahrzustände des "Health and Safety Code" irgendwo im gesamten Testprogramm untergebracht werden sollten. Der 7-mode-Zyklus sollte demnach mehr die Funktion kontrollierter Warmlaufbedingungen zum Erreichen der Betriebstemperatur des Abgasreinigungssystems ausüben. Man kam überein, daß - nachdem diese Temperaturstabilisierung vorlag - ein 11-mode-Zyklus (mit betriebswarmen Aggregaten wie im ehemaligen 11-mode-Test auf der Straße) anzuschließen sei. Das schließlich zu Zertifizierungszwecken angenommene Verfahren bestand aus 6maligem Fahren des 7-mode-Zyklus, dem ein 11-mode-Zyklus folgte. Da die Zeitverteilung der 11 Fahrzustände des 11-mode-Zyklus stark von den im "Health and Safety Code" vorgegebenen abwichen, war dieser 11-mode-Zyklus per se unbrauchbar, als ein sich wiederholendes Fahrprogramm verwendet zu werden [378].

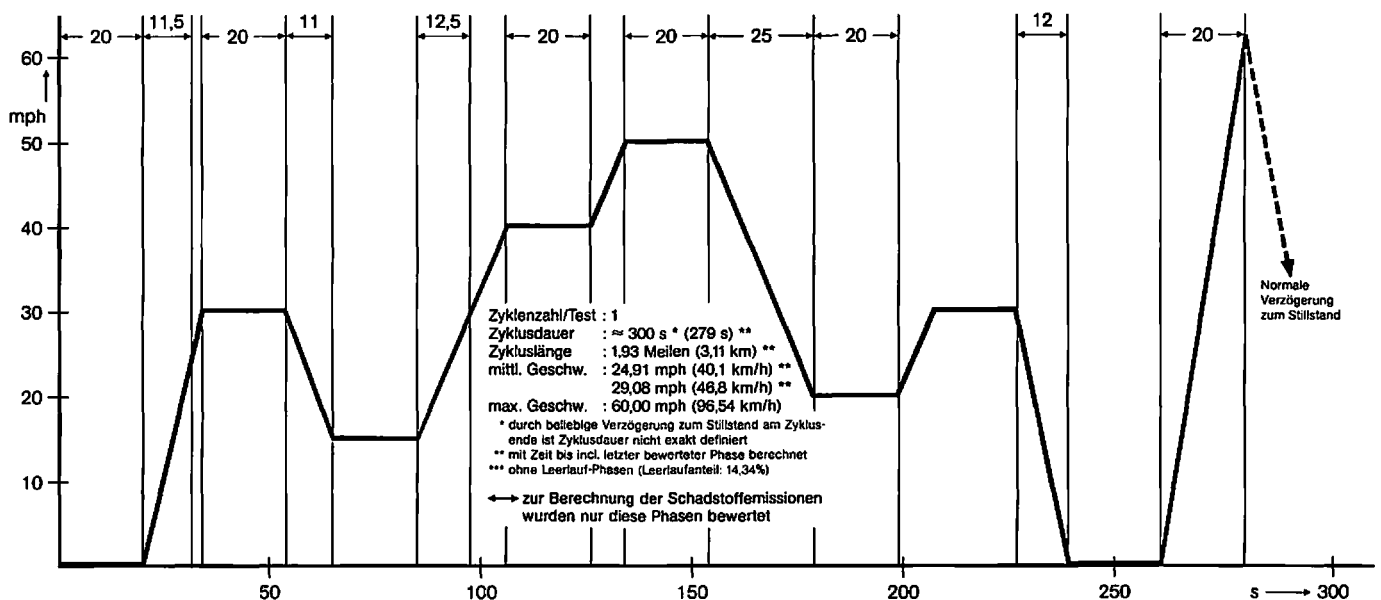


Bild II.6-28: Der Kalifornische 11-mode Prüfstand-Zyklus (abgeleitet aus den zusammen mit den ersten Grenzwerten der Welt für Schadstoffe im Automobilabgas vom „California Department of Public Health“ im Dezember 1959 gemäß „California Health and Safety Code“, Div. 20, Chapter 3, Sec. 24386 verabschiedeten 11 Straßenfahrzuständen), nach [380].

Der Fahrverlauf und die bewerteten Zeitabschnitte des 11-mode-Zyklus sind in Bild II.6-28 dargestellt. Die Berechnung des Endergebnisses sollte wie folgt durchgeführt werden:

- Mittelwertbildung aus den ersten vier 7-mode-Zyklen (Charakterisierung der Warmlaufphase)
- Verdünnungskorrekturen und Gewichtungsfaktoren anwenden
- Werte des 11-mode-Tests ähnlich behandeln
- Werte aus Warmlaufphase (b) mit dem Verhältnis der zum Warmlauf nötigen Zeit multiplizieren ( $9 \text{ min} / 20 \text{ min} = 0,45$ )
- Heißphase mit 0,55 bewerten, da sie die restlichen 11 der gesamten 20 Minuten des Tests abdeckt.

Nachdem auch die noch offenen Fragen der Instrumentation und der Meßtechnik gelöst waren, wurde am 19.05.1961 die aus den obengenannten Arbeiten hervorgegangene Zyklus-Kombination (7-mode/11-mode) als erster Zertifizierungstest durch das CMVPCB angenommen [378]. Am 23. Januar 1964 revidierte Kalifornien jedoch dieses Testverfahren nochmals. Das Fahrprogramm wurde in sieben Wiederholungen des 7-mode-Tests umgewan-

delt. Die ersten vier Wiederholungen bildeten die Warmlaufphase, die fünfte Wiederholung wurde nicht zur Emissionsmessung benutzt, und die letzten zwei Wiederholungen repräsentierten die Betriebsphase. Die Warmlaufphase wurde jetzt mit 35 %, die Betriebsphase mit 65 % bewertet {381}.

#### 6.5.4 Der kalifornische XC-15-Zyklus

Da der im "California Health and Safety Code" vorgeschriebene 11-mode-Straßentest nach allgemeiner Auffassung zu viele Fahrzustände mit geschlossener Drosselklappe enthielt und damit unrealistisch hohe HC-Emissionen lieferte, wurde zunächst der in Bild II.6-28 beschriebene 4-mode-Zyklus daraus abgeleitet. Sowohl der 11-mode-Test wie auch der 7-mode-Zyklus sollten noch den im gesamten Los Angeles Gebiet vorliegenden Verkehr sowohl zu Verkehrsspitzen - wie auch zu normalen Verkehrszeiten widerspiegeln {382}.

Im Jahre 1966 verließ man diese Philosophie und versuchte, diejenigen Verkehrsverhältnisse zu simulieren, die zu Maximal-Konzentrationen an Schadstoffen im Los Angeles Becken führten. Die hierfür verantwortlichen Verkehrsverhältnisse traten in den morgendlichen Verkehrsspitzen im zentralen Los Angeles Gebiet auf. Man nahm in Kauf, daß Emissions-Kontrollsysteme, die auf einen aus derartigen Verkehrsverhältnissen abgeleiteten Fahrzyklus hin entwickelt wurden, unter anderen Verkehrsverhältnissen nur mehr oder weniger effektiv arbeiten würden {383}.

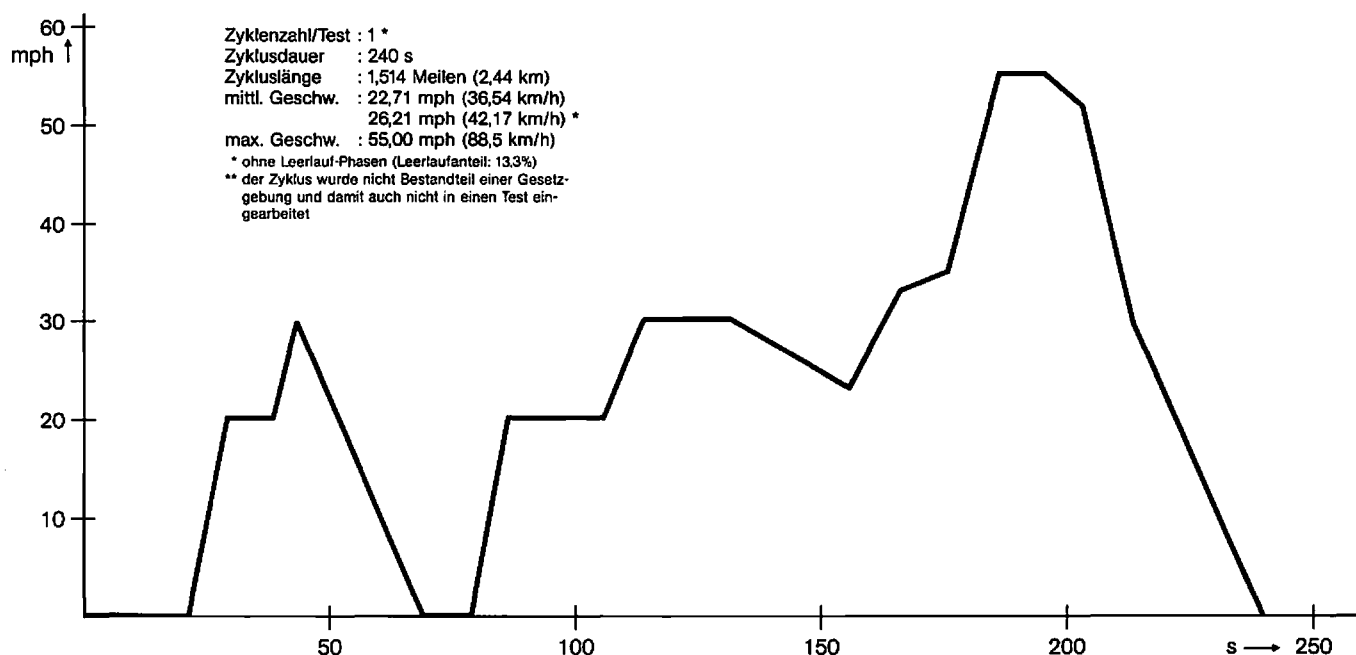
Der neue Zyklus sollte weiterhin folgende Auflagen erfüllen {383}:

- er sollte geschlossen, wiederholend und selbstbewertend sein (d. h. das gesamte Abgasvolumen des Zyklus sollte die Zeit/Volumen-gewichtete Summe der einzelnen Fahrzustände darstellen),
- er sollte nach Geschwindigkeiten definiert sein und so wenig Fahrzustände wie möglich enthalten, und
- er sollte die entsprechenden Straßenbedingungen hinsichtlich Schadstoff-Konzentration, Abgasvolumen und Durchschnittsgeschwindigkeit simulieren.

Zur Entwicklung eines derartigen Zyklus bestimmte man zunächst die mittleren Fahrzustände in der in Frage kommenden Region unter Verwendung eines einzigen Fahrzeugs mit einer Vielzahl von Fahrern. Dann suchte man eine Streckenführung, auf der die gefundenen Ergebnisse gut reproduziert wurden und entwickelte einen Rollenprüfstands-Fahrzyklus, der diese Ergebnisse ebenfalls simulierte. Schließlich wurde die allgemeine Gültigkeit des gefundenen Zyklus nachgeprüft, indem man mit anderen Fahrzeugen und verschiedenen Fahrern Test- und Straßenbedingungen verglich {383}.

Man konnte den morgendlichen Spitzenverkehr schließlich durch 19 Fahrzustände simulieren und fand auch eine Straßenführung, auf der man diese Fahrzustände außerhalb der Verkehrsspitzenzeiten nachfahren konnte. Diese Streckenführung wurde "LA-4" genannt und bildete den Ausgangspunkt des auch heute noch im US-Emissionstest verwendeten, inzwischen gänzlich veränderten Fahrzyklus. Nach weiteren Versuchen auf dieser LA-4-Strecke bezüglich des Zusammenhangs zwischen Emissionen und Fahrzuständen,





**Bild II.6-29:** Der kalifornische 18-mode Zyklus (XC-15), der den 7-mode Zyklus ersetzen sollte, und der – da auf der Streckenführung „LA-4“ entwickelt – als Vorläufer des späteren EPA-UDDS („Urban Dynamometer Driving Schedule“ = LA-4 Zyklus) angesehen werden kann, nach [385].

wurde der sogenannte XC-15-Testzyklus für den Fahrzeugrollenprüfstand erarbeitet [384]. Nach diesem neuen Fahrzyklus, der in Bild II.6-29 dargestellt ist, wurden dann zahlreiche Vergleichsmessungen zur Straße durchgeführt. Es zeigte sich, daß für HC und CO die LA-4-Straßenstrecke höhere mittlere Konzentrationen ergab als der neue – daraus abgeleitete – Fahrzyklus XC-15. Im  $\text{NO}_x$  war der Zusammenhang jedoch umgekehrt [386].

[%]	HC <sup>1)</sup>	CO <sup>1)</sup>	$\text{NO}_x$ <sup>2)</sup>
LA-4	100	100	100
XC-15	69	78	114
7-mode	82	72	136

1) Proportionale Emissionsmessung 2) Gesamtbeutel-Emissionsmessung

**Bild II.6-30:** Vergleich der Schadstoff-Konzentrationen im neu entwickelten XC-15 Fahrzyklus, im offiziellen Zertifikationszyklus (7-mode) und während des Straßenzklus LA-4, nach [387].

Werte lieferte, der bereits gesetzlich festgelegte CO-Grenzwert angehoben und der entsprechende HC-Grenzwert numerisch gesenkt werden mußten [386].

Wie aus Kap. 6.6 ersichtlich ist, fand der XC-15 selbst keine praktische Anwendung mehr. Er war der letzte Versuch in den USA, sich wiederholende Zyklen für Emissionstests zu verwenden. Er bildete jedoch hinsichtlich der zugrundegelegten Streckenwahl (LA-4) den Ausgangspunkt für den heute noch bei der wahren Massenmessung verwendeten nicht wiederholenden Zyklus: den nachfolgend beschriebenen UDDS ("Urban Dynamometer Driving Schedule") der FTP ("Federal Test Procedure").

Wie in Kap. 6.5 beschrieben wurde, war man bei der Festlegung des ersten kalifornischen Fahrzyklus zunächst davon ausgegangen, daß dieses Fahrprogramm sowohl Verkehrsspitzen wie auch verkehrsarme Zeiten repräsentieren sollte. Die entsprechenden Arbeiten hatten über den 11-mode-Test zum 7-mode-Zertifikationszyklus geführt. Aber schon in den frühen 60er Jahren überdachten die Mitarbeiter der kalifornischen Umweltschutzbehörde ihre einstigen Kriterien zur Festlegung der charakteristischen Betriebszustände und entschieden, daß der Zyklus nicht das 24stündige landesweite Fahrverhalten wiedergeben sollte. Sie hielten es für wichtiger, daß man sich auf diejenigen Fahrzustände konzentrieren sollte, die zu den Spitzen der Luftverunreinigung im Los Angeles Becken beitrugen, wobei man feststellte, daß die morgendliche Fahrt zur Arbeit den größten Beitrag zum Los Angeles Smog lieferte [388].

Bei dem Bemühen, für diesen "Weg zur Arbeit" einen repräsentativen Zyklus festzulegen, der auf einem Dynamometer wiederholt und zur Abgasbestimmung benutzt werden konnte, fand man zwar eine repräsentative Fahrstrecke (die LA-4) und entwickelte auch einen angepaßten Fahrzyklus für den Rollenprüfstand (den XC-15), die kalifornischen Behörden gaben jedoch bald (d. h. im Jahre 1963) weitere Arbeiten an einem, dem 7-mode-Zyklus ähnlichen, Fahrverlauf auf.

### 6.6.1 Der Bundes-Emissionstest-Fahrzyklus (UDDS = "Urban Dynamometer Driving Schedule" oder "LA-4-Zyklus")

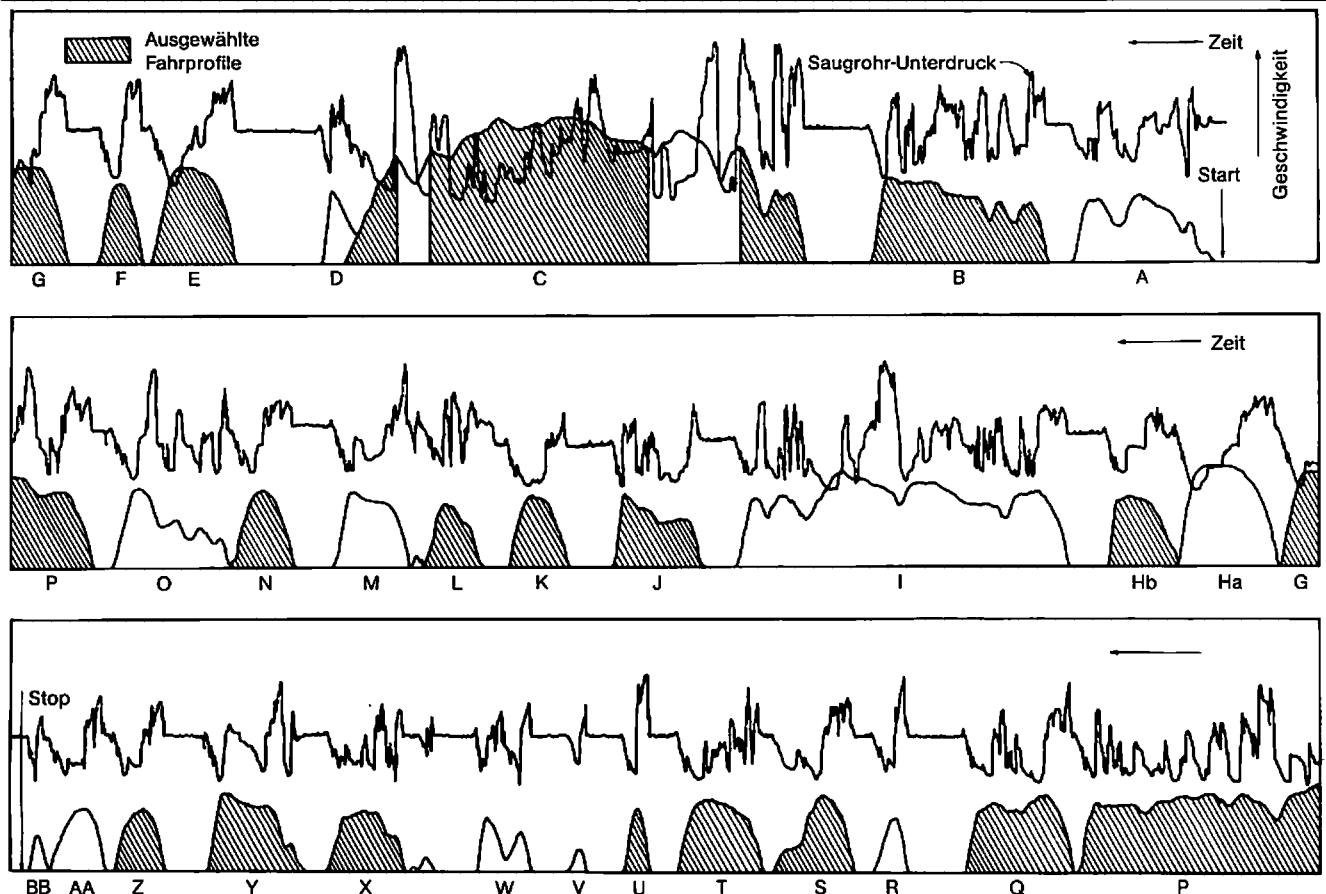
Im September 1966 begannen seitens der Bundesbehörde fortführende Arbeiten. Das DHEW benutzte einen PHS-Ethyl-Fahrzyklus-Analysator, um die Fahrzustände auf der LA-4 aufzuzeichnen. Die Daten wurden analysiert und eine ähnliche Route in Cincinnati, Ohio, zusammengestellt. Diese sogenannte "CLA-4" diente Vergleichsmessungen mit Zyklen, die den kalifornischen 7-mode-Test für die Zertifikation ablösen sollten. Die zur Wahl stehenden Zyklen wurden sowohl durch mitgesammeltes Abgas wie auch durch mitgeschriebene Fahrmodi mit der CLA-4 verglichen. Ziel war hierbei zunächst immer noch, den Zyklus ähnlich dem 7-mode-Zyklus zu gestalten. Die Arbeiten am Vergleich der zur Diskussion stehenden Zyklen mit dem CLA-4-Ergebnis erstreckten sich über den Sommer 1968 [389]. Im August 1968 wurden die DHEW-Aktivitäten von Fairfax, Ohio, nach Ypsilanti, Michigan, verlegt, wodurch die Arbeiten unterbrochen wurden. In Ypsilanti setzte der "Procedures Development Branch" die Untersuchungen fort. Jetzt war es schon möglich, die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit bei Fahrten auf der Straße aufzuzeichnen. Da die Fairfax-Anlagen geschlossen werden sollten, würde es bald keinen Zugang mehr zur CLA-4-Route geben, und man mußte abermals eine neue Teststrecke finden. Das wurde die "YCLA-4", eine Ypsilanti-Version der LA-4, wobei nach wie vor die Original LA-4 in Los Angeles die Standardstrecke blieb [390].

Immer noch gab es das Problem, lange Fahrkurven brauchbar zu reduzieren. Weil diese Fahrkurve als beste Beschreibung des Fahrverhaltens erkannt wurde, war das nächste Ziel, eine Fahrkurve zu finden, die nicht zu lang war, aber das durchschnittliche

Fahrverhalten wiedergab. Die entsprechenden Versuche wurden von EPA wieder in Los Angeles auf der LA-4 unternommen (Aufzeichnung von Leerlaufzeit, mittlerer und maximaler Geschwindigkeit, Anzahl der Stopps). Die Mittelwertbildung ergab:

Gesamtfahrzeit-Durchschnitt: 37,6 min (35,3 bis 40,0)  
 Fahrzeit ohne Leerlaufphasen: 31,0 min (29,8 bis 32,0)

Von den verwertbaren Fahrschrieben wurde derjenige ausgewählt, der dem mittleren Verhalten am nächsten lag {391}. Diese Kurve ist in Bild II.6-31 wiedergegeben und liegt in der Zeitdauer bei 31,2 min. ohne Leerlauf (Gesamtzeit: 37.7 min.).



**Bild II.6-31:** Erste, von der Los Angeles-Route LA-4 abgeleitete Fahrkurve mit den für den späteren Rollenprüfstandtest (FTP) schließlich gewählten Fahrabschnitten (schraffiert), [392].

Da die LA-4-Route 12,0 Meilen lang, also länger als die ermittelte durchschnittliche Fahrtlänge von 7,5 Meilen war, brauchte man noch eine Kurzversion des Original LA-4-Zyklus. Durch Zusammenfassen ähnlicher Fahrprofile, aber unter Aufrechterhaltung der ursprünglichen Durchschnittsgeschwindigkeit, wurde schließlich ein Kurvenverlauf gefunden, der auch die 248 s erforderliche Leerlaufzeit in den 18 Leerlaufabschnitten - verteilt entsprechend der Originalroute - aufwies. Bild II.6-31 zeigt durch die schraffierten Teile, welche Abschnitte im EPA-UDDS aufrechterhalten wurden {391}.

Am 15.07.1970 wurde dieser Zyklus im "Federal Register" vorgeschlagen. Kommentare der Dynamometerhersteller sagten, daß stellenweise die für die damals üblichen Fahrzeug-Rollenprüfstände zulässige Beschleunigung von 3,3 mph/s überschritten wurde, und man begrenzte daraufhin die Beschleunigungen auf diesen Wert {391}. Die Endfassung des UDDS (wie in der FTP-75 eingesetzt) ist in Bild II.6-32 gezeigt.

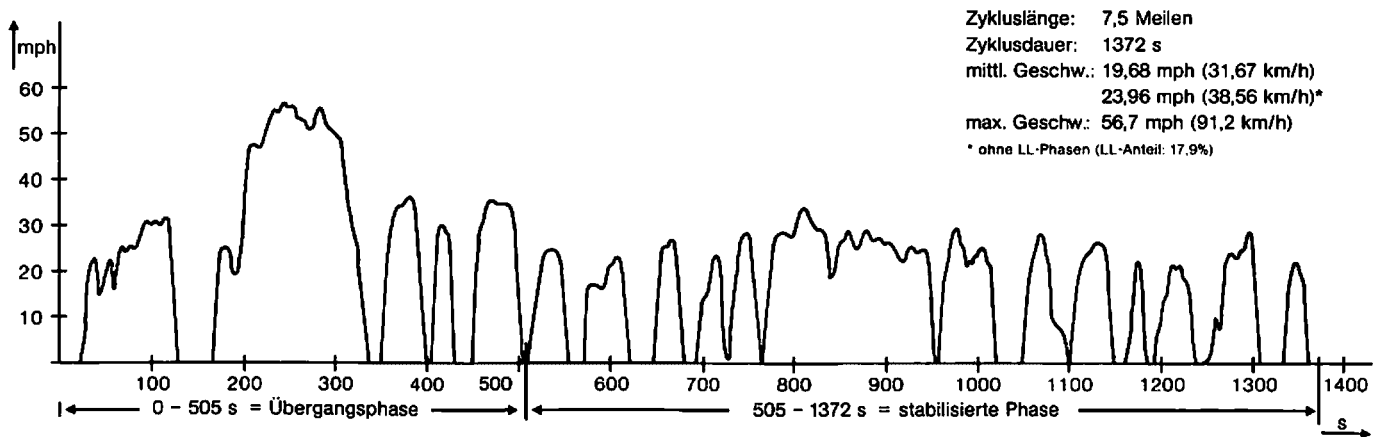


Bild II.6-32: Der endgültige LA-4 Zyklus (UDDS = „Urban Dynamometer Driving Schedule“) der FTP-72. Bei der FTP-75 („Federal Test Procedure“) werden die ersten 505 s (Übergangsphase) mit betriebswarmem Motor (nach 10minütigem Motorstillstand) wiederholt, nach [393].

Der Abschluß in der UDDS-Entwicklung war ein Abgastestvergleich mit dem vollen LA-4-Zyklus. Statistische Auswertungen ergaben, daß der UDDS den Originalzyklus gut repräsentierte. Außerdem führten die "Scott Research Laboratories, Inc." als Teil des "CAPE-10"-Fahrzeugüberwachungsprogrammes (siehe dazu auch Kap. 7.2 ) Modalanalysen durch, die ebenfalls gute Korrelation zum Original-Zyklus ergaben [394].

#### 6.6.2 Der Bundes-Sulfat-Test (CUFDS = "Congested Urban Freeway Driving Schedule")

Im Jahre 1972 zeigten Tests, die die EPA bei einem Vertragslabor hatte durchführen lassen, daß Partikel-Emissionen von Fahrzeugen mit Oxidationskatalysator höher lagen als bei - ebenfalls mit bleifreiem Kraftstoff betriebenen - Fahrzeugen ohne Katalysator. Diese Erscheinung entsprach nicht den Erwartungen, nach denen die Partikel-Emissionen von nicht mit Katalysatoren bestückten mit bleihaltigem Kraftstoff betriebenen Fahrzeugen aus dem Blei des Kraftstoffes stammen, und die daher bei Verwendung bleifreien Kraftstoffes sowohl bei Katalysatorfahrzeugen wie auch bei Nicht-Katalysatorfahrzeugen in gleichem Maße hätten abnehmen müssen [395].

Da die von obengenanntem Vertragslabor getesteten Katalysatoren von Ford stammten, untersuchte Ford die Filter und fand  $H_2SO_4$ . Am 05.02.1973 teilte Ford diesen Tatbestand der EPA mit. Daraufhin erweiterte die EPA ihr Sulfat-Testprogramm und veröffentlichte am 08.03.1974 eine Notiz im Federal Register, in der um Informationen über Meßtechnik und Kontrolltechnologie für  $H_2SO_4$ -Emissionen ersucht wurde [395]. Da die EPA um diese neuen unerwarteten Emissionen besorgt war, wurde darüber hinaus sicherheitshalber ab Modelljahr 1979 ein Sulfat-Test als Bestandteil der Zertifizierung vorgeschlagen, ohne daß jedoch der zunächst angekündigte Sulfat-Grenzwert gesetzlich vorgeschrieben wurde.

Grundlage des Sulfat-Tests war der "Congested Urban Freeway Driving Schedule" (CUFDS), dessen Verlauf in Bild II.6-33 dargestellt ist. Dieser Fahrverlauf war durch Computerauswertung verschiedener vom APRAC des CRC im "CAPE-10"-Programm ermittelten Fahrmuster hergeleitet und sollte eine 13,5 Meilen (21,7 km) lange Fahrt auf verstopfter Los Angeles-Stadtautobahn simulieren. Man nannte den CUFDS auch

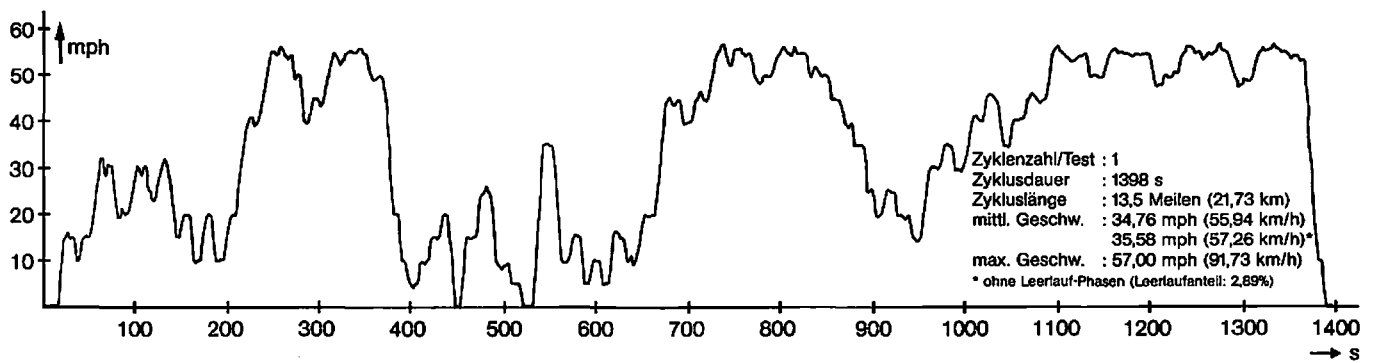


Bild II.6-33: Der CUFDS („Congested Urban Freeway Driving Schedule“), bekannt als „Sulfat-Test-Fahrzyklus“, nach [396].

Sulfat-Test, da er ein Fahrverhalten repräsentierte, bei dem die EPA im Falle von katalysatorbestückten Fahrzeugen Gefahren einer örtlich hohen Schwefelsäure-Exposition sah [397]. Bei der mittleren Geschwindigkeit des Tests von 35 mph liegt auf den Los Angeles-Stadtautobahnen maximaler Verkehrsfluß vor. Der Test enthält sowohl Abschnitte mit > 50 mph, die Schnellverkehr und Teile mit < 20 mph, die zähflüssigem Verkehr entsprechen [397].

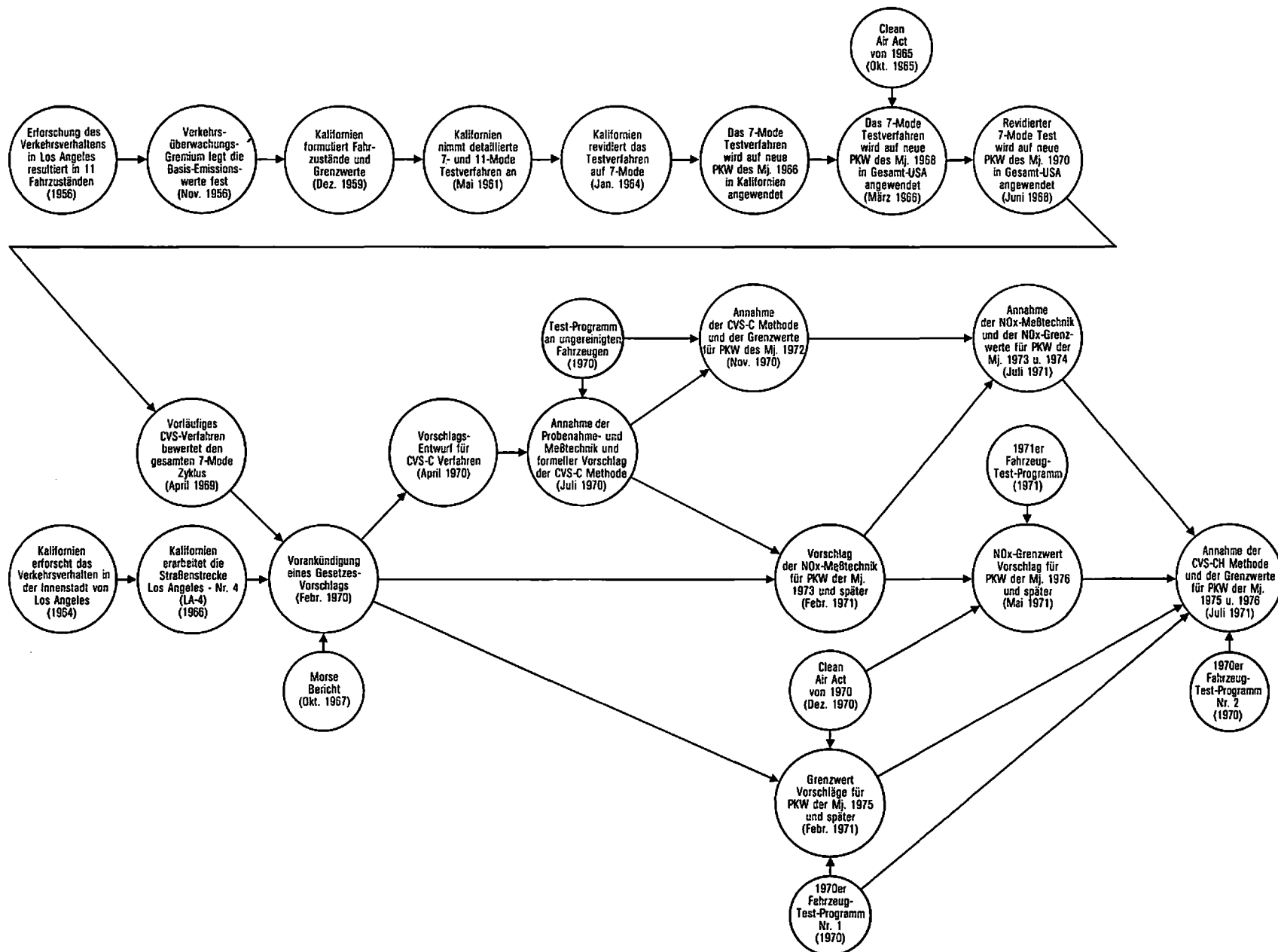
Da die Sulfat-Emissionen zu einem bestimmten Zeitpunkt von den zuvor gefahrenen Geschwindigkeiten abhängen, ist der Sulfat-Test erst bei Festlegung einheitlicher Vorkonditionierungsmaßnahmen für das Testfahrzeug aussagefähig. Diese Vorkonditionierung sollte einen stabilisierten und definierten Zustand der (Aluminium-)Sulfat-Speicherung auf dem Katalysator bewirken (Speicherung: bei niedrigen Katalysatortemperaturen und niedrigen Fahrgeschwindigkeiten; Regenerierung; bei hohen Katalysatortemperaturen und hohen Fahrgeschwindigkeiten). Als Vorkonditionierungszyklus konnte entweder der LA-4-Zyklus oder der AMA-Dauerlaufzyklus (siehe dazu Kap.5.2.3.1 in Teil III dieser Arbeit) verwendet werden. Der Sulfat-Test wurde mit betriebswarmem Motor gefahren.

Der 1975 erstmals bekanntgegebene Sulfat-Zyklus wurde jedoch wieder zurückgezogen, nachdem das Problem der Sulfat-Emissionen als weniger bedeutend erkannt wurde, als man ursprünglich vermutet hatte. Die Meßtechnik (großer Verdünnungstunnel) wurde weiterverwendet und bildete die Ausgangsbasis zur Schaffung eines Meßverfahrens für die Partikel-Emissionen aus Pkw mit Diesel-Motoren, wie es bereits in Kap. 6.4.3.5 erläutert wurde.

#### 6.7 Zusammenhang verschiedener Schritte in der Entwicklung der US-Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw bis zur Annahme der CVS-CH-Methode

Nachdem der Leser durch separate Darstellung der Entwicklungsgeschichte von Grenzwerten, Fahrzyklen und Testverfahren in den vorangegangenen Kapiteln mit diesen wesentlichen Einzelbestandteilen der US-Emissionskontrollgesetzgebung vertraut gemacht wurde, sei abschließend anhand von Bild II.6-34 eine Übersicht der Gesamtzusammenhänge vermittelt.

Ausgehend von den 11 Fahrzuständen der ersten kalifornischen Testvorschriften kann anhand dieser Grafik der Weg über den ersten Abgas-Zertifizierungstest der Welt bis



**Bild II.6-34:** Zusammenhang verschiedener Schritte in der Entwicklung der US-Emissionskontrollgesetzgebung für PKW bis zur Annahme der CVS-CH-Methode, [398].

hin zur modernsten Emissionsmeßmethode verfolgt werden. Hierbei werden durch die Pfeile in obengenanntem Bild die Wirkungsrichtungen von Emissionskontrollgesetzen und Untersuchungsprogrammen zur Erfassung von Fahrmustern oder zur Ermittlung von Konversionsfaktoren auf die entwicklungsgeschichtlichen Meilensteine verdeutlicht.

Das im Bild erwähnte 1970er Fahrzeug-Testprogramm Nr. 1 diente zur Ermittlung eines Grenzwert-Umrechnungsfaktors vom 7-mode-Test auf den für Modelljahr 1972 vorgesehenen CVS-C-Test (LA-4-Kaltstarttest), mit dem 1970er Fahrzeug-Testprogramm Nr. 2 wurde ein entsprechender Grenzwert-Umrechnungsfaktor vom CVS-C-Test auf den CVS-CH-Test (LA-4-Kaltstart-/Heißstarttest) bestimmt.

Mit dem 1971er Fahrzeug-Testprogramm wollte man die 1971er  $\text{NO}_x$ - "Baseline" finden, die als Bezugsniveau für den 1976er "Statutory ( $\text{NO}_x$ )-Standard" in den "Clean Air Amendments" vom Dezember 1970 genannt war.

#### 6.8 Zusammenhang zwischen Testverfahren, Fahrzyklen und Emissionsgrenzwerten mit Entstehungsgeschichte der "Statutory Standards"

Zum Abschluß der Diskussion über die Entwicklungsgeschichte der US-Emissionskontrollgesetzgebung sei in Bild II.6-35, Bild II.6-36 und Bild II.6-37 die Entstehungsgeschichte der sogenannten "Statutory Standards" dieser Gesetzgebung veranschaulicht. Der Aufbau der Bilder II.6-35 und II.6-36 erfolgte in Anlehnung an die Ausführungen in [399]. Die Darstellungen wurden jedoch in wesentlichen Teilen neu gestaltet und weitgehend im Umfang ergänzt. Bild II.6-37 wurde erstmals zusammengestellt. Bei allen Bildern wurde von den historischen "baseline"-Studien Kaliforniens zur Erfassung des Emissionsniveaus von "ungereinigten" Fahrzeugen vor Modelljahr 1966 und der ebenfalls historischen Entwicklung der ersten kalifornischen Emissionsgrenzwerte ausgegangen. Von diesen Standards wird dann zu den ersten Bundes-Grenzwerten übergeleitet, deren weiterer Weg - mit allen Einflußfaktoren, wie Gesetzen, Änderungen der Meßtechnik und entsprechender Grenzwert-Anpassung sowie der Ermittlung der hierfür notwendigen Umrechnungsfaktoren - bis hin zu den "Statutory"- oder sogenannten "Muskie"-Grenzwerten - verfolgt wird.

Die Gesetz gewordenen Grenzwerte sind durch Kästchen eingerahmt und ermöglichen einen leichten Quervergleich zu den früher gezeigten Bildern II.6-4 und II.6-7.

#### 7. Gemeinsame Arbeiten von Behörden und Automobilindustrie bei der Untersuchung der Schadstoffemissionen aus Pkw und Pkw-Motoren

Bei den in diesem Teil der vorliegenden Arbeit zu behandelnden Bemühungen des Gesetzgebers auf dem Gebiet der Erfassung und Begrenzung von Schadstoffemissionen aus Kraftfahrzeugen müssen auch Untersuchungen erwähnt werden, die unter Mitarbeit der Automobilindustrie durchgeführt wurden. In diesem Zusammenhang sollen nachfolgend die historisch bedeutungsvollen Arbeiten zur Erfassung der Emissions-Ausgangssituation ("baseline studies") sowie die Programme des CRC exemplarisch diskutiert wer-

Modelljahr			Kalifornien 1966	Bund 1968	Bund 1970	Bund 1972	Bund 1975
Daten zur Entstehungsgeschichte			<b>Kalifornien 1956</b>	<b>Bund 1968-1969</b>			
Test-zyklus	Mess-methode	Bemerkungen	Das Ausgangs-Emissions-Niveau für Kalifornien wird durch das „Field Survey Panel“ der „Coordinating Research Council, Inc.“ an 169 noch nicht abgasgereinigten Fahrzeugen ermittelt. Grundlage war ein 12-Mode Test.	Um die für 1970 angestrebte Luftqualität zu erreichen, wurden am 4. 12. 59 Grenzwerte zum Einsatz ab Mj. 1966 erlassen.	Ohne zunächst eine eigene Emissionsniveau-Ausgangsbasis festzulegen wird am 30. 3. 66 das 1966er Kalifornien-Verfahren für den Bund zum Einsatz ab Mj. 1968 übernommen. Die Grenzwerte werden jedoch abhängig vom Hubraum gestaffelt.	In diesem Zeitraum wird an 1500 noch nicht abgasgereinigten Fahrzeugen das Ausgangsemissionsniveau für den Bund ermittelt (1968) und anhand von Zusatzdaten nochmals revidiert (1969).	Am 4. 8. 68 werden die Zielvorstellungen ab Mj. 1970 definiert und auf Massenemissionen umgerechnet.
			Am 10. 11. 70 werden die endgültigen „1972er Standards“ zum Einsatz für die Modelljahre 1972-1974 erlassen.	Die „Clean Air Amendments“ vom 31. 12. 70 schreiben eine 90%ige Reduktion des 1970er Niveaus bis Mj. 1975 vor. Die 1975er Grenzwerte werden am 2. 7. 71 Gesetz.			
11-MODE  Am 1. Febr. 1964 wird auf 7-Mode Zyklus umgestellt	KONZENTRATIONSMESSUNG		3,8 Vol. %	→ 60 % Reduktion →	1,5 Vol. %		
7-MODE	KONZENTRATIONSMESSUNG	*) Umrechnung Konzentration auf Massen-emission mittels einer Formel, die eine empirisch gefundene Berechnung des Abgasvolumens beinhaltet.		↓	1,5 Vol. %		
7-MODE	KONZENTRATIONSMESSUNG <sup>1)</sup>	Aus Korrelationsprogramm an 30 Fzgn. ohne Abgasreinigungsanlagen wird ein Äquivalenzfaktor für die Umrechnung CVS-C bestimmt.					
LA-4	MASSENEMISSIONSMESSUNG (CVS-C)	Aus dem „1970er Fzg.-Testprogramm Nr. 1“ wird an 129 Fzgn. des Mj. 1970 ein neuer Äquivalenzfaktor CVS-C 7-Mode ermittelt.					
LA-4	CVS-C	Aus dem „1970er Fzg.-Testprogramm Nr. 2“ wird an 90 Fahrzeugen ein Äquivalenzfaktor CVS-CH CVS-C ermittelt.					
LA-4 (mit Wdhlg. der ersten 505 s)	CVS-CH						
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard im Bund lautet:</p> <p>15,0 g/m</p> <p>Der Bund erläßt gleichzeitig einen Grenzwert, der Kalifornien vorgeschrieben wurde, ohne daß Kalifornien für diesen schärferen Standard eine Sondergenehmigung beim Bund beantragt hatte:</p> <p>9,0 g/m</p> </div>				
			<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Am 11. 4. 1973 wird das gesetzlich vorgesehene Einsatzdatum für den 1975er („Statutory“) CO-Grenzwert für alle Hersteller, die einen entsprechenden Aufschubantrag gestellt hatten, aufgeschoben. Der 1975er „Interim“-Standard</p></div>				

**Bild II.6-35:** Entstehung des ersten **Kalifornien**-Standards und Entwicklung der **Bund**-Abgasgrenzwerte für **CO** bis zu den „Statutory Standards“, nach [399].



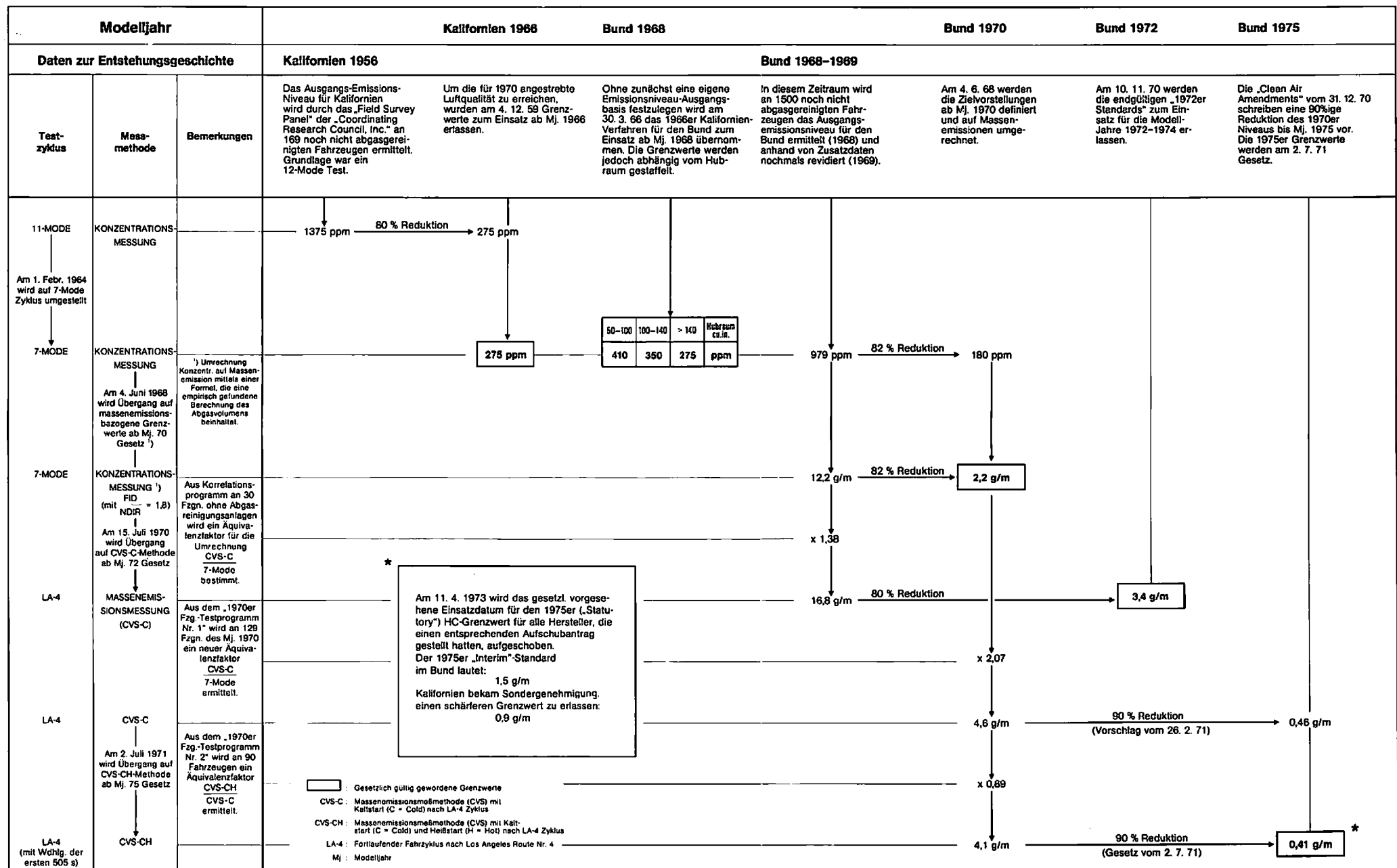


Bild II.6–36: Entstehung des ersten Kalifornien-Standards und Entwicklung der Bund-Abgasgrenzwerte für HC bis zu den „Statutory Standards“, nach [400].

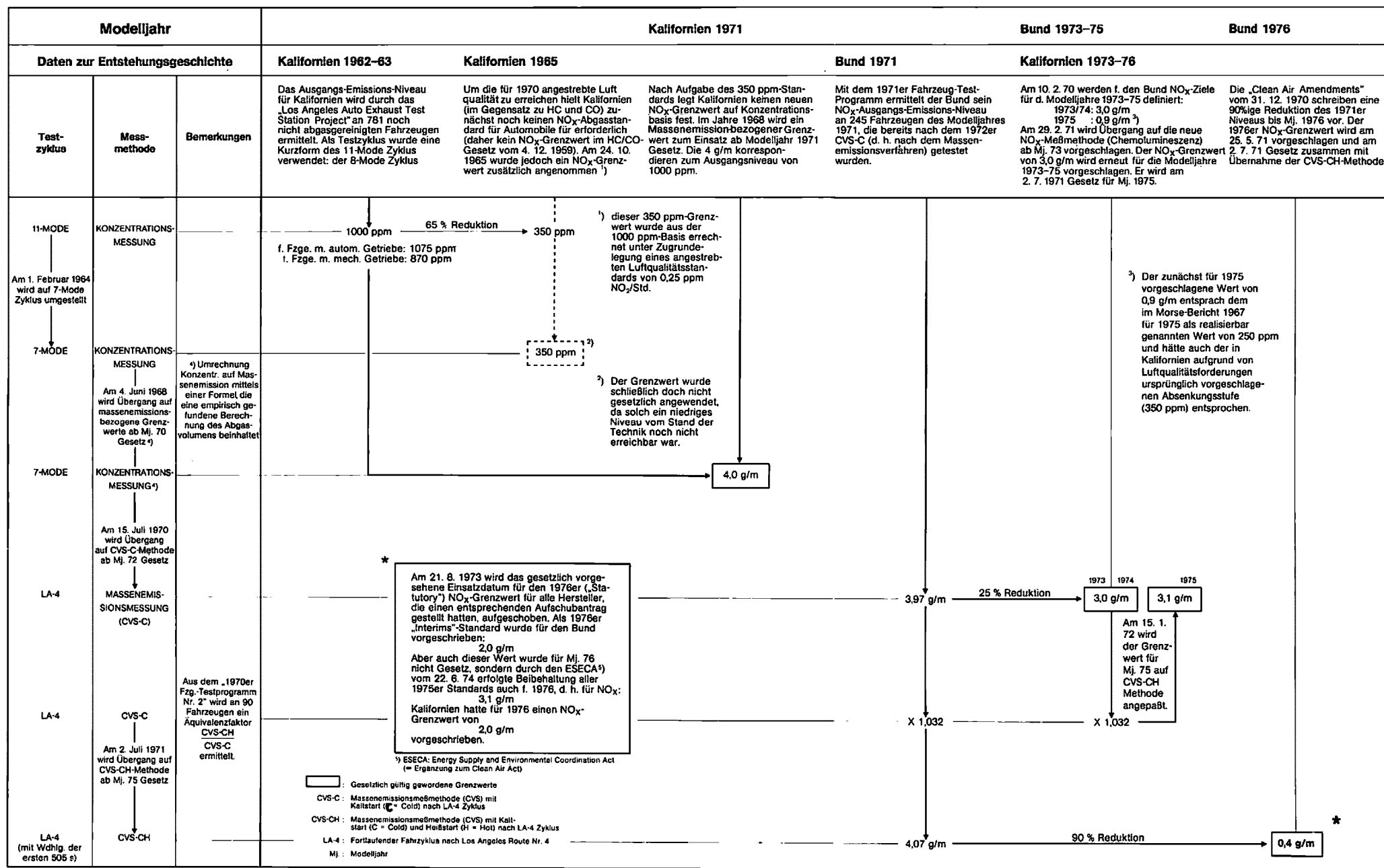


Bild II.6-37: Entstehung des ersten Kalifornien-Standards und Entwicklung der Bund-Abgasgrenzwerte für NO<sub>x</sub> bis zu den „Statutory Standards“.

den. Besonders wegen der zur damaligen Zeit noch enormen meß- und verfahrenstechnischen Schwierigkeiten stellen diese Untersuchungen Pionierleistungen dar, denen eine entsprechende Würdigung gebührt.

## 7.1 "Baseline"-Studien

Vor Beginn der Arbeiten zur Senkung des Schadstoffausstoßes von Pkw und Pkw-Motoren galt es, das Emissionsniveau der vorhandenen Fahrzeugpopulation in sogenannten "baseline-studies" zu erfassen. Auf diese Basisemissionen ungereinigter Fahrzeuge wurden die aus Luftqualitätsüberlegungen abgeleiteten notwendigen Absenkungsraten für die einzelnen Schadstoffkomponenten angewendet. Große Anstrengungen zur Bestimmung dieser "baseline" wurden besonders vom Staat Kalifornien unternommen, wobei die Arbeiten durch die in den Anfangsjahren der Emissionskontrollgesetzgebung oft unzureichenden meßtechnischen Möglichkeiten (z. B.  $\text{NO}_x$ -Bestimmung noch nach der Phenoldisulfonsäuremethode) sehr erschwert waren.

### 7.1.1 Die CRC 169-Wagen HC/CO-Studie und andere Versuche

Das "Field Survey Panel" des CRC führte vom 5. November bis zum 7. Dezember 1956 zusammen mit dem LA-APCD und Vertretern der Industrie Tests an 293 Fahrzeugen durch, wobei 196 Fahrzeugtests bezüglich HC und CO nach einem (fast mit dem in Kap. 6.5 beschriebenen 11-mode-Test identischen) 12-mode-Test untersucht wurden [401]. Der 12-mode-Test unterschied sich im wesentlichen vom 11-mode-Test durch eine zusätzliche Verzögerungsphase von 40 auf 20 mph (Phase im späteren gesetzlichen 11-mode-Test entfallen, da emissionsähnlich mit Verzögerung von 50 auf 20 mph).

Die Basisemissionen mittlerer ungereinigter Fahrzeuge ergaben sich nach diesem 12-mode-Test zu 1625 ppm HC und 3,8 Vol.-% CO. Für  $\text{NO}_x$  wurden nur erste Tastversuche durchgeführt. Für die Festlegung der ersten kalifornischen Auto-Abgasstandards wurde jedoch der HC-Wert (wegen Zweifel an seiner Korrektheit) um  $\approx 15\%$  reduziert und 1375 ppm zugrunde gelegt [402].

	Fahrzustand [mph]	Zeitdauer [s]	Bemerkungen
Konstantfahrt	Leerlauf	—	—
	20	—	—
	30	—	—
	40	—	—
	50	—	—
Beschleunigungen	0-60	—	Vollgas
	0-25	13	Teilgas
	15-30	11	Teilgas
Verzögerungen	50-20	—	freie Verzögerung
	40-20	5	stark gebremst
	30-0	11	schwach gebremst
	30-15	10	schwach gebremst

Bild II.7-1: Der während der 1956er CRC-„Baseline-Studie“ verwendete 12-Mode Straßentest, nach [403].

Die obengenannte Arbeit kann als einer der ersten wesentlichen Beiträge zur Ermittlung der Schadstoffemissionen von Pkw angesehen werden, der dazugehörige 12-mode-Straßentest ist in Bild II.7-1 gezeigt. Nach dieser CRC-Studie folgten weitere Untersuchungen, wie z. B.:

- 1958 führte der PHS gemeinsam mit Chrysler Abgasmessungen an 180 Fahrzeugen durch, die in Cincinnati zur Sicherheitsinspektion vorgeführt wurden (Leerlauf mit und ohne Gang, 30 und 50 mph Konstant) [404].
- 1958 führte die AMA in Detroit an Wagen des Modelljahres 1958 (je 25 Fahrzeuge von Chevrolet, Ford, Plymouth) Tests auf Rollenprüfstand und Herstellerversuchsbahn durch (Programm wie oben) [404].

- 1959 maß der APCD an 49 Wagen (Ford, Chevrolet, Plymouth) HC, CO und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Leerlauf, bei 25 und 50 mph Konstantfahrt sowie bei Beschleunigungen und Verzögerungen {404}.

Alle genannten Studien hatten folgende Nachteile {404}:

- sie waren nicht direkt übertragbar auf die Los Angeles-Situation, da die Fahrzeugauswahl nicht der mittleren Los Angeles-Fahrzeugpopulation entsprach.
- die verwendeten Meß- und Analysenmethoden waren unterschiedlich.
- es wurden keine einheitlichen Fahrzustände zugrunde gelegt, die Ergebnisse zeigten zum Teil unerklärlich hohe Meßwerte (z. B. CRC-Studie im HC).

Aus diesem Grund wurde das nachfolgend beschriebene Projekt in Angriff genommen {404}.

#### 7.1.2 Die 1000-Wagen HC/CO/NO<sub>x</sub>-Studie: "Los Angeles Auto Exhaust Test Station Project"

Dieses Programm stellte eine gemeinsame Studie folgender Bereiche dar:

- Los Angeles County-Air Pollution Control District (LA-APCD)
- Automobilclub of Southern California
- Automobile Manufacturer's Association (AMA)
- California Department of Public Health
- California Motor Vehicle Pollution Control Board (CMVPCB)
- California Highway Patrol
- United States Public Health Service (US-PHS)

Es wurden in der Zeit vom Juli 1962 bis zum Februar 1963 Tests an einem aus 1013 Fahrzeugen bestehenden Querschnitt von Fahrzeugmodellen, der repräsentativ für die Fahrzeugpopulation ungereinigter "Los Angeles County"-Pkw war, durchgeführt. Der Untersuchung ging ein Korrelationsprogramm voraus, um die Reproduzierbarkeit von Straßentestergebnissen auf Rollenprüfständen zu bestätigen {405}.

Diese Arbeit sollte endgültig die in den unter Kap. 7.1.1 genannten Versuchen beinhalteten Unklarheiten ausräumen und Daten liefern, die von den kalifornischen Behörden benötigt wurden, um Grenzwerte und Absenkungsstufen festlegen zu können. Das Projekt ergab neue Informationen bezüglich der HC- und CO-Basisemissionen und repräsentierte gleichzeitig die kalifornische NO<sub>x</sub>- "baseline"-Studie für künftige Festlegungen von Emissionsgrenzwerten. Zweites Ziel war es, Erfahrungen über die Testmög-

Abgas-komponente	Emissionsmittelwerte		
	alle Fahrzeuge	Fahrzeuge mit automatischem Getriebe	Fahrzeuge mit mechanischem Getriebe
HC <sup>1)</sup> [ppm]	750 <sup>2)</sup>	630	900
CO [Vol.%]	3.5	3.3	3.7
CO <sub>2</sub> [Vol.%]	11.1	11.5	10.8
NO <sub>x</sub> [ppm]	1000 <sup>3)</sup>	1075	870

1) als Hexan; 2) ermittelt an 1013 Fahrzeugen; 3) ermittelt an 781 Fahrzeugen, wurde später mit 1040 ppm verwendet.

**Bild II.7-2:** Emissionsmittelwerte von ungereinigten PKW in Kalifornien („baseline-study“), nach [407].

lichkeiten an großen Fahrzeugstückzahlen zu sammeln und Verbesserungen in der Probenahme und Meßtechnik von Autoabgasen zu finden {406}.

Als Ergebnis wurden die mittleren Konzentrationen der Schadstoffkomponenten

im Abgas von Pkw (die ungefähr Modelljahr, Hersteller und Zylinderzahl des 1962er kalifornischen Bestandes ungereinigter Pkw mit 60/40 % automatischem/mechanischem Getriebe repräsentierten) wie in Bild II.7-2 zusammengestellt, gefunden.

7.1.3 Die kalifornischen 8-mode-Zyklen

Zur Bewältigung der in Kap. 7.1.2 genannten Arbeit galt es zunächst, aus den 11 im "California Health and Safety Code" vorgeschriebenen Fahrmodi einen praktikablen Zyklus für die Anwendung auf Rollenprüfständen zu finden. Hierzu wurden 28 Fahrzeuge einem Korrelationsprogramm zwischen folgenden Testarten unterzogen {405}:

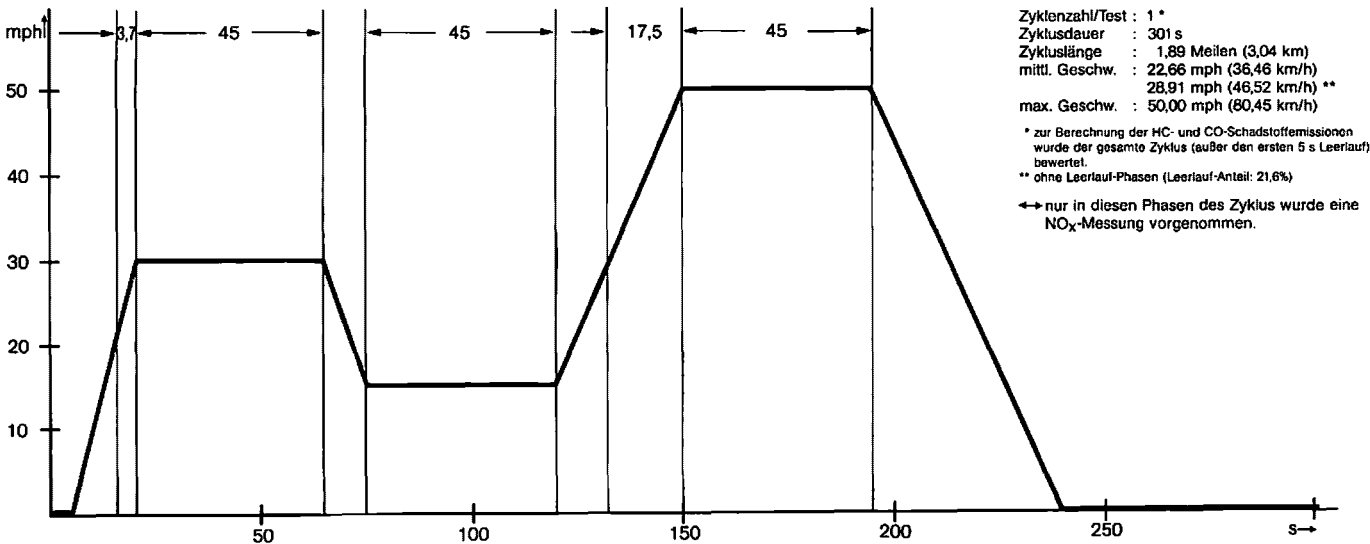
- a) Fahrt mit proportionaler Abgasanalyse auf vorgeschriebener Straßenstrecke
- b) Fahrt auf Straße nach den ursprünglichen 11 Fahrzuständen mit proportionaler Abgassammlung
- c) wie b) aber mit kontinuierlicher Abgasanalyse sowie Entnahme einer bestimmten Abgasmenge zur NO<sub>x</sub>-Konzentrationsbestimmung
- d) Fahrt auf Rollenprüfstand nach Kurztest mit Meßverfahren wie c)

Die beste Korrelation zeigte sich zwischen c) und d) {408}, wobei der Kurztest aus einem 8-mode-Zyklus bestand, der zur Unterscheidung zu einem später verwendeten 8-mode-Zyklus mit der Kennzahl I bezeichnet werden soll. Dieser "8-mode-Zyklus I" entstand durch Weglassen der weniger wichtigen Phasen des 11-mode-Straßentests. Die

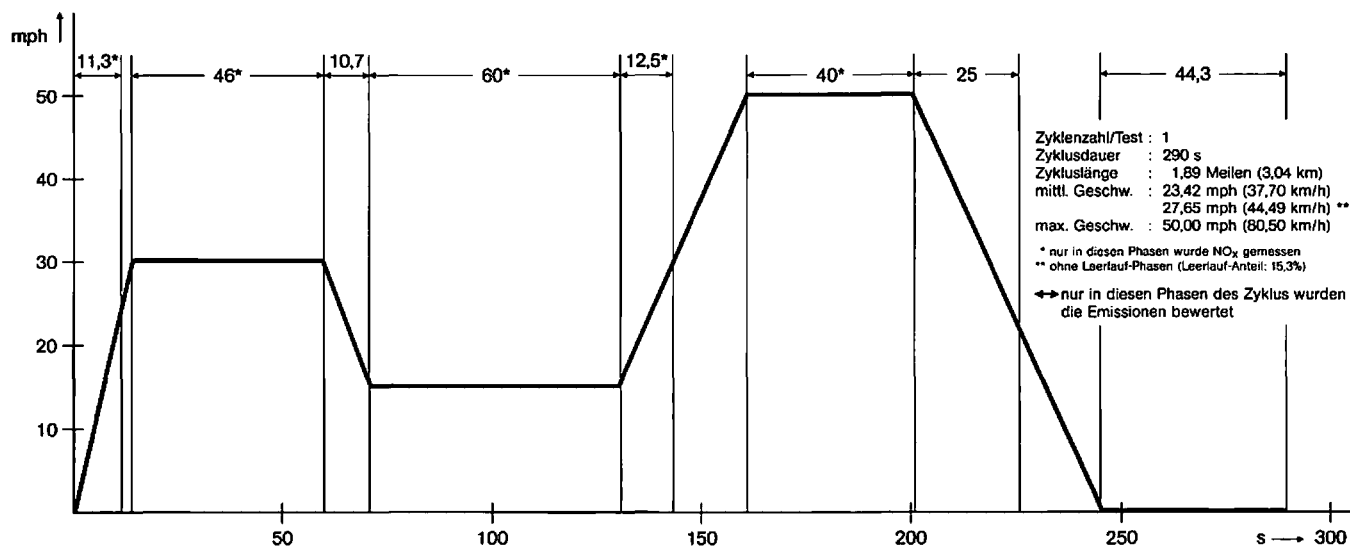
Der Gewichtungsfaktor von	wurde kombiniert mit
Beschleunigung 0 → 60 mph	Beschleunigung 0 → 25 mph
Konstant 40 mph	Konstant 50 mph
Verzögerung 30 → 0 mph	Verzögerung 30 → 15 mph

verbleibenden Zeit/Volumen-Wichtungsfaktoren wurden kombiniert mit solchen, die ähnliche Phasen bewerteten, wie in Bild II.7-3 gezeigt ist. Nachdem belegt worden war, daß das Emissionsverhalten während der 11 ursprünglichen Straßen-Fahrzustände durch einen 8-mode-Kurztest

**Bild II.7-3:** Anpassungen der Zeit/Volumen-Gewichtungsfaktoren durch Zusammenfassung verschiedener Fahrphasen beim Übergang vom 11-mode Test auf den 8-mode Zyklus, nach [409].



**Bild II.7-4:** Der kalifornische „8-mode-Zyklus I“, der als Nachweis einer Korrelierbarkeit von Rollenprüfstands- und Straßentests aus den im „California Health and Safety Code“ festgelegten 11 Fahrmodi des Straßentests abgeleitet wurde, nach [410].



**Bild II.7-5:** Der kalifornische „8-mode-Zyklus II“, der als Kurzform des 11-mode-Zyklus in einer 1013-Wagen-Studie zur Ermittlung der NO<sub>x</sub>-Basis-Emission sowie zur Überprüfung der HC- und CO-Basiswerte verwendet wurde, nach [411].

auf einem Rollenprüfstand recht gut wiedergegeben werden konnte, erfolgte noch eine geringfügige Änderung dieses Zyklus. Es entstand der schließlich für die "mass survey", d. h. die Untersuchung der 1013 Fahrzeuge, verwendete "8-mode-Zyklus II". Die 8-mode-Zyklen und ihre Kenndaten sind in Bild II.7-4 und in Bild II.7-5 dargestellt.

Die gefundenen "baseline"-Emissionsergebnisse sind in Bild II.7-6 mit den aus den weiter genannten Untersuchungsprogrammen enthaltenen Daten verglichen. Am auffal-

Test-programm	Testart	Anzahl Fahrzeuge	Gefundene Mittelwerte	
			CO [Vol.%]	HC [ppm]
L.A. Auto Exhaust Test Station Project	8-mode Zyklus	1013	3.5	750
APCD	7-mode Zyklus	94	3.1	815
Scott	7-mode Zyklus	92	3.2	870
CRC	12-mode Zyklus	169	3.8	1625

**Bild II.7-6:** „Baseline“-Emissionswerte (Mittelwerte) von ungereinigten Fahrzeugen aus verschiedenen Untersuchungsprogrammen, nach [412].

lendsten ist der hohe HC-Wert der CRC-Studie, für die man "hang-up"-Einflüsse (d. h. Fehler durch HC-Ansammlung im Probenahmesystem) mitverantwortlich machte. Trotzdem wurde dieser fehlerhafte Wert (allerdings um 15 % vermindert) als Ausgangspunkt für die weiteren

Absenkungsstufen der Emissionsstandards verwendet. Die von diesen "baseline"-Werten ausgehende weitere Grenzwertfestlegung in Kalifornien bis zu den "Statutory Standards" der "Clean Air Amendments" von 1970 wurde bereits in Kap. 6.8 (Bild II.6-35, Bild II.6-36, Bild II.6-37) zusammengestellt.

## 7.2 Der CRC und das APRAC

Um ein besseres Verständnis des Beitrags von Fahrzeug-Emissionen zur Luftverunreinigung zu erhalten, hatte der CRC ein umfangreiches Programm initiiert, das technische, atmosphärische und medizinische Aspekte dieses Problems behandeln sollte. Dieses 3-Jahres-Programm war mit > 10 Millionen \$ angesetzt und stellte ein gemeinsames Programm zwischen Behörden und Industrie dar. Beteiligt waren die AMA, das "American Petroleum Institute" (API) und die NAPCA des DHEW [413].

Der CRC repräsentiert das Ergebnis von mehr als 50jährigen Anstrengungen zwischen

CRC-Projekt	Thema	Kurzbeschreibung
<b>CAPE 2-68</b>	Einfluß von Kraftstoffeigenschaften auf Langzeitverhalten von Vergaser und PCV-Ventil	48 Fahrzeuge wurden mit Additiven im Kraftstoff auf ihr Emissionsverhalten im Vorstadt/Stadt-Verkehr untersucht. Hierbei begannen die Fahrzeuge bei $\geq 3000$ Meilen Laufstrecke und akkumulierten $\approx 1000$ Meilen/Monat über 2 Jahre. Abgas- und PCV-Tests erfolgten alle 4000 Meilen.
<b>CAPE 3-68</b>	Kraftstoffeigenschaften und Emissionen, die durch Brennraum-ablagerungen entstehen.	Spezielle Untersuchungen bezüglich Blei-Antiklopfmitteln. Auswertung der diesbezüglichen Versuche von 18 Firmen.
<b>CAPE 4-68</b>	Kraftstoff-Flüchtigkeit und Fahrzeugauslegung bezüglich Fahrverhalten und Emissionen	Das „Bureau of Mines“ führte an 12 Wagen Abgas- und Verdunstungsmessungen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen durch. Die Ethyl-Corporation schloß Fahrverhaltens-Versuche auf Freiluftrollenprüfständen an. 8 verschiedene Kraftstoffe wurden untersucht, wobei verschiedene Siedekurven sowie Ersatz von C <sub>4</sub> bis C <sub>5</sub> Olefinen durch leichte Aromaten erfolgte.
<b>CAPE 5-68</b>	Zeit/Temperatur-Verhalten von Kraftstoffsystemen in Stadtgebieten bei hohen Umgebungstemperaturen	An 80 Fahrzeugen wurden im Stadtgebiet von Los Angeles während Umgebungs-Spitzentemperaturen des Spätsommers 1968 Temperaturverhältnisse an Teilen des Kraftstoffsystems im 24-Stunden-Betrieb gemessen.
<b>CAPE 6-68</b>	Relativer Beitrag der Gesamt-Aromaten und PNA des Kraftstoffes hinsichtlich der PNA des Abgases	Kraftstoffzusammensetzung, Motorbetriebsbedingungen und Abgasreinigungssysteme wurden in ihrer Wirkung bezüglich der Entstehung von PNA im Abgas untersucht. Es sollte ebenfalls eine Partikelermassungsmethode gefunden werden.
<b>CAPE 7-68</b>	Identifizierung und Messung von Geruch	Der CRC beriet zwei Programme: Die seit Februar 1968 laufenden A.D. Little-Untersuchungen, die sich nur mit Geruch von Diesel-Motoren befaßten, sowie ein Programm des IIT-Research Institute das neue Techniken zur Trennung und Erkennung von Geruchsstoffen sowie ihrer Zuordnung zur Abgaszusammensetzung entwickelte.
<b>CAPE 8-68</b>	Kinetik und Chemie von Verbrennungsvorgängen im Auspuffsystem	Die Universität von Michigan sollte die verschiedenartigen Formen von Verbrennungsvorgängen im Auspuffsystem von Otto-Motoren untersuchen. Ziel: Optimale Auslegung von thermischen Reaktoren.
<b>CAPE 9-68</b>	Kraftstoffverluste beim Betanken von Fahrzeugen	Fahrzeuggesteuerungs-, Betankungsweisen und Kraftstoffverluste beim Betanken wurden im Stadtgebiet von Los Angeles untersucht.
<b>CAPE 10-68</b>	Fahrverhalten und Entwicklung eines Fahrzyklus	Eine bundesweite Untersuchung an 1200 Fahrzeugen in 6 US-Städten diente der Erfassung eines mittleren repräsentativen Fahrzyklus für künftige Emissionstests. – n.b.: Die CAPE 10-Fahrzeuge mit Meßtechnik wurden den europäischen Ländern für ihre Bemühungen, ebenfalls einen repräsentativen Zyklus zu finden, angeboten.
<b>CAPE 11-68</b>	Verbesserte Instrumentation zur Bestimmung von NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> sowie Oxigenate sollten sowohl auf Konzentrations- und Massen- als auch auf Reaktivitätsbasis besser erfassbar gemacht werden (individuelle und gesamte Carbonyle, Aldehyde, Ketone).
<b>CAPE 12-68</b>	Meßtechnik für PNA und Partikeln	In Zusammenarbeit mit dem „Batelle Memorial Institute“ sollten vor allem schnellere Meßverfahren gefunden sowie die Möglichkeit, Partikeln (oder deren Aggregatformen) in bestimmten Eigenschaftsgruppen individuell zu messen, geschaffen werden.
<b>CAPE 14-68</b>	Kurzer Fahrzyklus	Es sollte ein möglichst kurzer Fahrzyklus mit der dazugehörigen Instrumentierung zum Einsatz bei Inspektionsstationen (Abgastests) entwickelt werden.
<b>CAPE 15-68</b> <b>CAPE 16-68</b>	Inspektion und Wartung	Entwicklung einer Inspektionstechnik die innerhalb von 3 bis 30 Minuten die Ergebnisse visueller und meßtechnischer Prüfung von wichtigen emissionsbeeinflussenden Teilen auswertbar macht. Überwachung des Erfolgs dieser Technik in einer 2-Jahresstudie.
<b>CAPE 17-68</b>	Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen	Richtlinien und Pläne für Überwachungsprogramme sowie Abschätzung der Emissionsverschlechterung mit der Laufzeit sollten entwickelt, eine passende Meßtechnik vorgeschlagen und Korrelation der Surveillance-Tests zum Zertifikationstest nachgewiesen werden.
<b>CAPE 18-68</b>	Wirtschaftlichkeit	Entwicklung eines möglichen Verbund-Systems aus Zertifikation-Nachprüfung im Verkehr-Inspektion-Wartung für Emissionskontrollsysteme und Wirtschaftlichkeits-Studie bezüglich verschiedener Alternativkombinationen.
<b>CAPA 1-68</b> : <b>CAPA 7-68</b>	Luftverunreinigung und die Atmosphäre	Reaktivität, Pflanzenschäden, Diffusionsmodelle, CO-Beseitigung aus der Atmosphäre, HC in der Atmosphäre, Atmosphärischer Dunst, Luftverunreinigungen im Los Angeles-Becken wurden untersucht.
<b>CAPM -2-68</b> : <b>CAPM -8-68</b>	Luftverunreinigung und die menschliche Gesundheit	CO und menschliche Leistungsfähigkeit, CO-Einfluß auf Mensch und Tier, CO und das Cardiovascular-System, Toxizität von PNA in der Lunge, Synergismus verschiedener Luftverunreinigungen im Tierversuch, Oxidantien/NO <sub>x</sub> und Sterblichkeit, COHb in verschiedenen Bevölkerungsgruppen wurden untersucht.
<b>CAPI -1-64</b> <b>CAPI -2-58</b> <b>CAPI -3-65</b> <b>CAPI -5-65</b>	Zusammensetzung Diesel-Abgas Abgas sammeln und analysieren Verdunstungsverluste Fahrzeugemissionen	Entwicklung von Meßmethoden und Erfassung der Emission aus Diesel-Motoren. Untersuchen verschiedener Einflüsse auf die Abgaszusammensetzung. Entwicklung von Systemen zur Messung der Verdunstungsverluste aus Tank und Vergaser. Erfassung der Emissionen der US-Fahrzeug-Population.

**Bild II.7-7:** Untersuchungen des „Coordinating Research Council“ (CRC) auf dem Gebiet der Emissionen aus Kraftfahrzeugen seit Ende des Jahres 1968, nach [414].

Fahrzeug- und Mineralölindustrie zur Verbesserung von Motoren sowie Kraft- und Schmierstoffen. Mit Aufkommen des Themas Emissionskontrolle schuf der CRC ein Luftreinhaltungsprogramm, dessen Ziel nicht die Entwicklung von Emissionskontrollsystemen, sondern die Erfassung der Natur und Wirkung von Emissionen aus Kraftfahrzeugen war. Um das Programm zu beschleunigen, wurde im Herbst 1967 das "Air Pollution Research Advisory Committee" (APRAC) gegründet, das den Leiter des CRC beraten sollte. Das APRAC setzte sich aus je 7 Vertretern der Mineralöl- und Automobilindustrie sowie 2 Vertretern der NAPCA des DHEW zusammen {413}.

Die mehr als 30 vom CRC ab Ende 1968 durchgeführten Untersuchungen sind in Bild II.7-7 zusammengefaßt, da sie ein Bild früher gemeinsamer Bemühungen zwischen Industrie und Behörden zur Erfassung des Einflusses von Kraftfahrzeugen auf die Umwelt geben.

#### 8. Behördliche Nachprüfungsprogramme von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen ("Surveillance"- oder "In-Use Compliance Testing" und "Abgas-Garantievorschriften" der US-EPA)

Große Anstrengungen haben die US-Behörden auch auf dem Gebiet der Emissionsüberwachung "im Feld", d. h. im praktischen Fahrzeugeinsatz, unternommen. Nachfolgend seien diese Bemühungen anhand der Entwicklungsgeschichte der heute gültigen sogenannten "Abgas-Garantievorschriften" der US-EPA verdeutlicht. Diese Entwicklung vollzog sich in den drei Hauptabschnitten:

- a) Erfassung der Emissionssituation von Fahrzeugen im Feld durch die Behörde,
- b) vergeblicher erster Versuch zur Bestimmung von Annahme/Ablehnungs-Kriterien im Rahmen gesetzlich vorgeschriebener Nachprüfungsaktivitäten, und
- c) Verabschiedung extrem vereinfachter Kurztest-Vorschriften in Verbindung mit Forderungen nach einer sogenannten "Abgas-Garantie".

Um die genannten Untersuchungen besser verständlich zu machen, werden zunächst die in diesen Programmen verwendeten Kurztests diskutiert.

##### 8.1 Kurztests für Emissionsüberprüfung von Fahrzeugen im Verkehr

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, statt eines kompletten - mehr als 17 Stunden dauernden - Zertifikationstests ein für Schnelldiagnosen praktikables Kurztestverfahren anzuwenden. Seitens der Teststation, die dieses Verfahren im Rahmen von Fahrzeug-Routineinspektionen ("Inspection and Maintenance"-(I/M)-Programmen) anwendet, wird nicht nur Wert auf Aussagekraft über das Emissionsverhalten des getesteten Fahrzeugs in dessen gesamtem Betriebsbereich (Einstell-/Reparaturhinweise), sondern besonders auf extreme Kürze der Prüfung (Fahrzeug-Durchsatz) gelegt. Die Behörde (EPA) dagegen hat ihr Hauptinteresse daran, daß das Kurzverfahren eine verlässliche Aussage darüber zuläßt, ob das Fahrzeug den kompletten Zertifikationstest bestehen würde oder nicht, d. h. ob der Automobilhersteller im Rahmen der relevanten gesetz-



lichen Garantievorschriften zur kostenlosen Instandsetzung eines fehlerhaften Emissionskontrollsystems gezwungen werden kann. In diesem Zusammenhang wurden hauptsächlich die im folgenden genannten Kurztestverfahren (Konstantphasen- und Übergangsphasen ("Cycle")-Tests) entwickelt und angewendet.

#### 8.1.1 Der "Idle Test" und der "Two Speed Idle Test"

Der "Idle Test" (Leerlauftest) wird in verschiedenen Varianten angewendet. In dem von der EPA zusammen mit dem (in Kap. 8.3 behandelten, im Mai 1977 vorgeschlagenen) "Cutpoint"-Verfahren genannten "Idle Test" sollte eine Messung des unverdünnten Abgasstromes kontinuierlich während der Dauer der Leerlaufphase erfolgen. Es sollte der Anlieferungszustand, ohne Fahrzeug-Vorkonditionierung oder -Einstellung gemessen werden. Die 15 bis 30 s lang auf  $2500 \pm 200$  U/min erhöhte Leerlaufdrehzahl war zur kurzen Motor-Vorkonditionierung gedacht. Die eigentliche Ablesung der Emissionswerte sollte dann bei normaler Leerlaufdrehzahl erfolgen, entweder sobald die Konzentrationsanzeigen stabil waren oder spätestens nach zwei Minuten, wobei der höchste innerhalb der letzten 30 s dieser zwei Minuten auftretende HC/CO-Wert maßgebend war.

Bei dem von der EPA während der in Kap. 8.2 behandelten "Surveillance"-Programme aus den Jahren 1971 bis 1975 verwendeten "Two Speed Idle Test" wurden ebenfalls HC- und CO-Werte im unverdünnten Abgas gemessen, jedoch unterschied sich die Prozedur vom obengenannten "Idle Test": Gemessen wurde bei zwei konstanten Motordrehzahlen bei

Beschreibung	Testart	"Idle Test"	"Two Speed Idle Test"
Verfahren		"Federal Register" vom 25. 5. 1977	"EPA-Surveillance Test Programs"
Vorkonditionierung		keine; Test im Anlieferungszustand; kein Kühlgebläse	6 Minuten; geöffnete Motorraumhaube; Zusatzgebläse eingeschaltet
Messung	HC [ppm] CO [Vol. %]	HC und CO im unverdünnten Abgas	HC und CO im unverdünnten Abgas
Meßpunkt(e)		normale Leerlaufdrehzahl	a) normale Leerlaufdrehzahl b) erhöhte Leerlaufdrehzahl (2250 U/min)
Bemerkungen		Vor Messung bei normaler Leerlaufdrehzahl für 15 bis 30 s Leerlaufdrehzahl auf $2500 \pm 200$ U/min erhöhen. Meßwertablesung sobald Konzentrationsanzeige stabil, spätestens nach 2 Minuten (wobei der höchste Konzentrationswert innerhalb der letzten 30 s dieser 2 Minuten notiert wird)	Vor der Messung dürfen maximal 20 Minuten seit dem letzten längeren Fahrbetrieb vergangen sein. Vorkonditionierung: Nach 3 Minuten: Motorstart; dann: 3 Minuten bei normaler Leerlaufdrehzahl. Konzentrationen (HC, CO) ablesen, sobald Anzeige stabil und zwar erst bei erhöhter, dann bei normaler Leerlaufdrehzahl

Bild II.8-1: Die "Leerlauf-Tests" der US-EPA, nach [415, 416].

geöffneter Motorhaube und eingeschaltetem Zusatzgebläse. Der erste Meßpunkt lag bei 2250 U/min, der zweite bei normaler Leerlaufdrehzahl, in beiden Fällen in Getriebe-stufe "N" (bei autom. Getriebe).

Dem "Two Speed Idle Test" ging eine 6minütige Vorkonditionierung voraus (es durften maximal 20 Minuten seit dem letzten längeren Fahrzeugbetrieb vergangen sein), wobei die Motorraumhaube geöffnet und das Zusatzgebläse eingeschaltet waren. Nach 3 Minuten wurde der Motor gestartet und lief die restlichen 3 Minuten im Leerlauf. Nach dieser Vorkonditionierung wurde der Motor für maximal 3 Minuten bei einer auf 2250 U/min erhöhten Leerlaufdrehzahl betrieben, dem sich ein normaler Leerlauf anschloß. Vor dem Ablesen der Emissionswerte mußten sich die angezeigten Konzentrationen stabilisiert haben. Die Merkmale der beiden hier genannten Leerlauftests sind noch einmal in Bild II.8-1 zusammengefaßt.

#### 8.1.2 Der "Federal 3-mode-Test"

Beim "Federal 3-mode-Test", dessen Betriebspunkte in Bild II.8-2 gezeigt sind, wer-

Fahrzeug-Schwungmassen-klasse [lbs]	Getriebe-stellung	Schnellfahrt Phase		Langsamfahrt Phase		Leerlauf
		Geschw. [mph]	Last [HP]	Geschw. [mph]	Last [HP]	
≤ 2 500	autom. Getr.: „D“ mech. Getr.: höchster Gang	50	21	30	9	autom. Getriebe in „N“
2 501 ... 3 500		50	26	30	12	
3 501 ... 4 500		50	31	30	15	
> 4 500		50	36	30	18	

Die Rohemissionen werden unverdünnt mittels Sonde im Auspuffrohr gemessen (HC, NO<sub>x</sub> : [ppm]; CO : [Vol.%]). Es wird kein Kühlgebläse verwendet, solange der Motor nicht überhitzt. Das Dynamometer muß eine Lastbremse, aber keine Schwungmassensimulation haben. Wenn letztere vorhanden ist, wird sie ausgekuppelt. Die HP-Angaben beziehen sich auf „actual road load“.

**Bild II.8-2:** Der „Federal 3-Mode“ Test, nach [417].

den in 3 Konstantphasen (ähnlich wie bei den obengenannten "Idle Tests") HC- und CO-Emissionen im unverdünnten Abgas analysiert. Der erforderliche Fahrzeugrollenprüfstand muß mit einer Bremseinheit ("power absorption unit") ausgerüstet sein, benötigt jedoch keine Schwungmassen. Die Bremsbelastung wird je nach Testforderung eingestellt, wie es Bild II.8-2 zeigt.

Zur kurzen Motorvorkonditionierung wird innerhalb einer Minute vor Testbeginn die Motordrehzahl für 15 bis 30 s auf  $2500 \pm 200$  U/min. erhöht. Dann erfolgt zunächst die Konzentrationsmessung in der Schnellfahrphase ("high speed mode"), und zwar sobald der Anzeigewert stabil ist oder spätestens nach 2 Minuten, wobei der Höchstwert während der letzten 30 s dieser 2 Minuten abgelesen wird. Daran anschließend werden nach der gleichen Methode die Langsamfahrt-Phase ("low speed mode") und Betrieb bei normalem Leerlauf gemessen. Die hier wiedergegebene Testbeschreibung entspricht den Angaben in [417], die EPA hat jedoch bei der praktischen Anwendung dieses Tests (z. B. in [418]) Vorkonditionierungs- und Meßverfahren variiert.

### 8.1.3 Der "Clayton Key-Mode Test"

Dieser Test stellt einen der ältesten Kurztests zur Schnellüberprüfung der Emissionssysteme von Pkw auf grobe Fehler dar. Er wird von Clayton (Hersteller von Fahrzeug-Rollenprüfständen) seit vielen Jahren in verschiedensten Variationen zu obengenanntem Zweck angewendet. Die einzelnen Fahrzustände des "Key-Mode-Test" sind in Bild II.8-3 gezeigt, die Unterschiede zum "Federal 3-mode-Test" liegen in der ver-

Fahrzeug-Schwungmassen-klasse [lbs]	Getriebe-stellung	Dynamometer Belastung		schnelle Konstant-fahrt	langsame Konstant-fahrt	Leerlauf
		[HP]	[mph]	[mph]	[mph]	
≤ 2 800	autom. Getr.: „D“ mech. Getr.: höchster Gang	15	38	36 bis 38	22 bis 25	autom. Getriebe in „D“
2 801 ... 3 800		24	46	44 bis 46	29 bis 32	
≥ 3 801		30	50	48 bis 50	32 bis 35	

Die Rohemissionen werden unverdünnt mittels Sonde im Auspuffrohr gemessen (HC, NO<sub>x</sub> : [ppm]; CO : [Vol.%]). Es wird kein Kühlgebläse verwendet, solange der Motor nicht überhitzt. Das Dynamometer muß eine Lastbremse, aber keine Schwungmassensimulation haben. Wenn letztere vorhanden ist, wird sie ausgekuppelt. Die HP-Angaben beziehen sich auf „actual road load“.

**Bild II.8-3:** Der „Clayton Key-Mode“ Test, nach [419].

schiedenen Geschwindigkeits- und Lasteinstellung. Der "Clayton Key-Mode Test" wird in Arizona und Kalifornien versuchsweise angewendet.

Die Testphasen werden in der Reihenfolge Schnellfahrphase ("high speed mode") - Langsamfahrphase ("low speed mode") - Leerlauf ("idle") angefahren, wobei der ersten Phase eine kurze Motorvorkonditionierung mit 15 bis 30 s lang erhöhter Leerlaufdrehzahl von  $2500 \pm 200$  U/min. vorausgeht. Die Meßwertablesung erfolgt ebenfalls nach dem schon in Kap. 8.1.2 beschriebenen Verfahren.

Die oben genannte Testbeschreibung entspricht den Angaben in {419}, die EPA hat jedoch bei der praktischen Anwendung dieses Tests (z. B. in {420}) Vorkonditionierungs- und Meßverfahren variiert.

#### 8.1.4 Die "Modal Exhaust Emission Test Procedure"

Die EPA hat im Rahmen ihrer "surveillance"-Programme eine aus zwei getrennten Prüfungen bestehende Konstantphasen-Testfolge angewendet. Vor jedem dieser "Modal"-Tests durfte eine maximal 20minütige Standzeit des Fahrzeugs seit dem letzten längeren Fahrbetrieb liegen. Das Fahrzeug wurde dann drei Minuten lang bei 50 mph auf dem Rollenprüfstand vorkonditioniert, in der letzten Minute dieser Vorkonditionierung auf Leerlauf zurückgebracht und der Test gestartet {421}.

Der *erste Modal-Test* bestand aus einer Folge von 7 Konstantphasen, und zwar: Leerlauf, 5, 10, 15, 30, 45 und 60 mph. In jeder Phase wurden die Emissionen im verdünnten Abgas gemessen, wobei die Konzentrationswerte während 30 s stabil bleiben mußten. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Abgasprobe 3 Minuten lang in den CVS-Beutel eingeleitet, nach diesen 3 Minuten erfolgte Analyse der aus dem Beutel entnommenen Probe. Diesem Test schloß sich eine erneute Vorkonditionierung mit anschließender 1minütiger Leerlaufphase an (während der letzten 30 s dieser Leerlaufphase wurden die Konzentrationen des verdünnten Abgases mitgeschrieben) {421}.

Der *zweite Modal-Test*, die "Steady State Surveillance Driving Sequence" besteht, wie Bild II.8-4 zeigt aus 32 Beschleunigungen und Verzögerungen, die die 33 Konstantphasen (Leerlauf, 15 mph, 30 mph, 45 mph, 60 mph) unterbrechen. Jede Konstantphase, Beschleunigung und Verzögerung stellt einen separaten Fahrzustand dar.

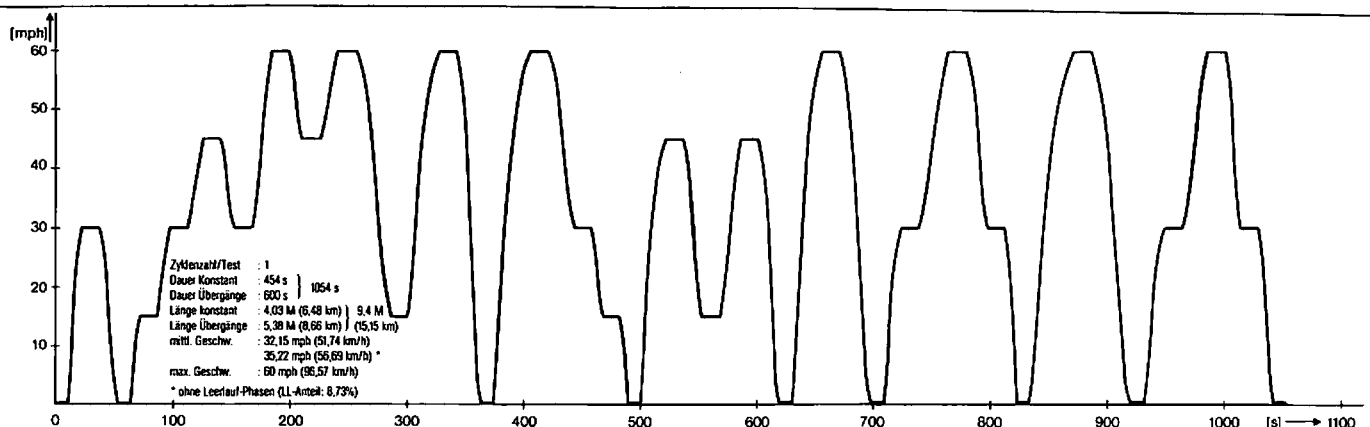


Bild II.8-4: Der zur Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen von der EPA angewendete SSDS („Steady State Surveillance Driving Schedule“), nach [422, 423]. Dieser Test wird im Rahmen des EPA „Surveillance“-Programm angewendet, hat aber keine Gesetzeskraft.

Das Abgas wird während der 1054 s langen Testfolge, in der das Fahrzeug 9.789 Meilen (etwa 15,75 km) zurücklegt, verdünnt im CVS-Beutel gemessen. Prüfstand und Getriebe werden wie bei der FTP eingestellt.

#### 8.1.5 Der "Federal Short Cycle-Test"

Dieser Test besteht aus 9 Fahrzuständen, wobei außer Konstantphasen auch Beschleunigungen und Verzögerungen eingearbeitet sind, wie in Bild II.8-5 gezeigt ist. Die Schwungmassen- und Bremslasteinstellung des Fahrzeug-Rollenprüfstandes sowie die

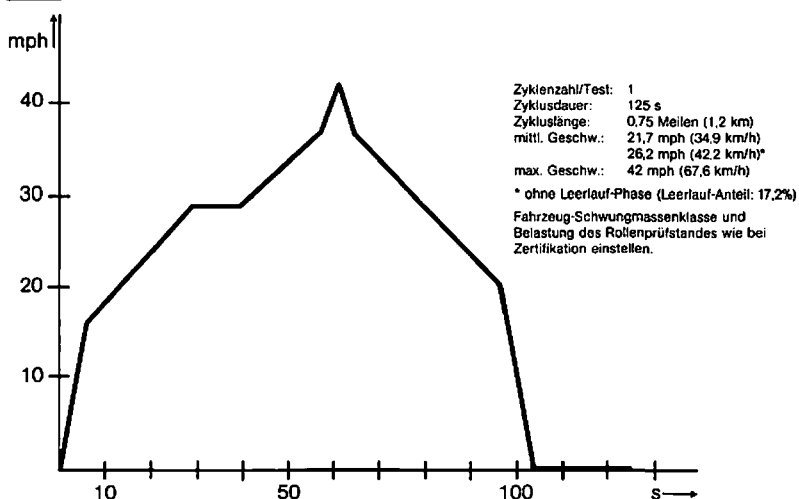


Bild II.8-5: Der „Federal Short Cycle“, nach [424].

Schaltpunkte bei Fahrzeugen mit mechanischem Getriebe entsprechen den Werten der FTP. Zur kurzen Motorvorkonditionierung wird die Leerlaufdrehzahl vor Beginn des Tests für 15 bis 30 s auf  $2500 \pm 200$  U/min erhöht. Während des Tests wird das verdünnte Abgas in den CVS-Beuteln gesammelt und anschließend auf HC, CO und  $\text{NO}_x$  analysiert, wobei ein stabiler Ana-

lysenwert innerhalb von 20 Minuten nach Beendigung der Abgassammelphase erreicht sein muß. Die ermittelten Schadstoff-Konzentrationswerte werden wie bei der FTP auf [g/m] umgerechnet.

Mit diesem Test liegen noch keine ausgedehnten Routine-Erfahrungen aus der Praxis vor. Das Verfahren wird noch in keinem Bundesstaat angewendet, da es hohe Investitionen und gut geschultes Personal bedingt.

#### 8.1.6 Der "New Jersey/New York Composite Cycle-Test"

Dieser 6-mode-Test ist in Bild II.8-6 gezeigt. Der Rollenprüfstand erhält während des Tests eine für alle Fahrzeuge einheitliche Einstellung von 3000 lbs (1361 kg) sowie einer Bremslast von 3,5 HP (2,61 kW) bei 30 mph (48,28 km/h). Die Vorkonditionierung ist identisch mit der des

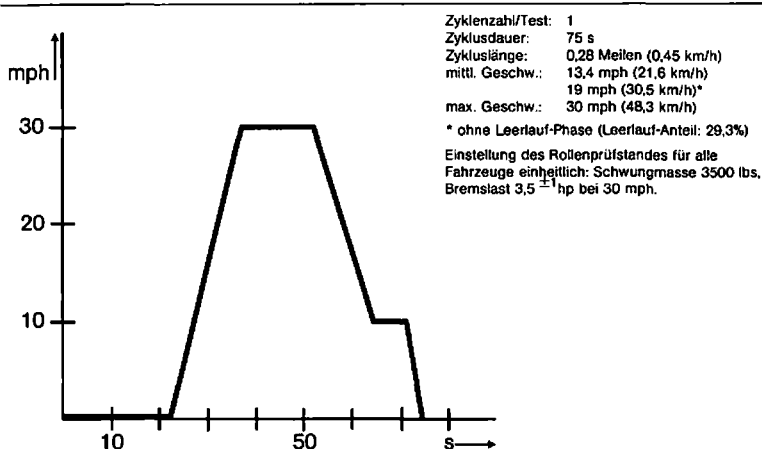


Bild II.8-6: Der „New Jersey/New York Composite Cycle“, nach [425].

nierung ist identisch mit der des "Federal Short Cycle-Test", die Schaltpunkte bei Fahrzeugen mit mechanischem Getriebe entsprechen den Schaltpunkten in der FTP. Die Motorvorkonditionierung, Abgassammlung und Abgasanalyse erfolgen wie bereits beim "Federal Short Cycle-Test" in Kap. 8.1.5 beschrieben.

Ein Teil dieses Tests stammt - wie

der Name andeutet – aus dem "New Jersey ACID-Test" ("Acceleration-Cruise-Idle-Deceleration"), der in Kap. 8.2.2.1 separat behandelt wird.

#### 8.1.7 Der "New York City Cycle-Test"

Der in Bild II.8-7 dargestellte "New York City Cycle-Test" ist ein nichtwiederholendes Fahrprogramm aus Leerlauf-, Beschleunigungs-, Konstantfahrt- und Verzögerungsphasen. Schwungmassen- und Bremslasteinstellung für den Rollenprüfstand sowie die Getriebeeschaltpunkte entsprechen der FTP. Es ist keine Zusatzausrüstung gegenüber einem normalen CVS-Test erforderlich.

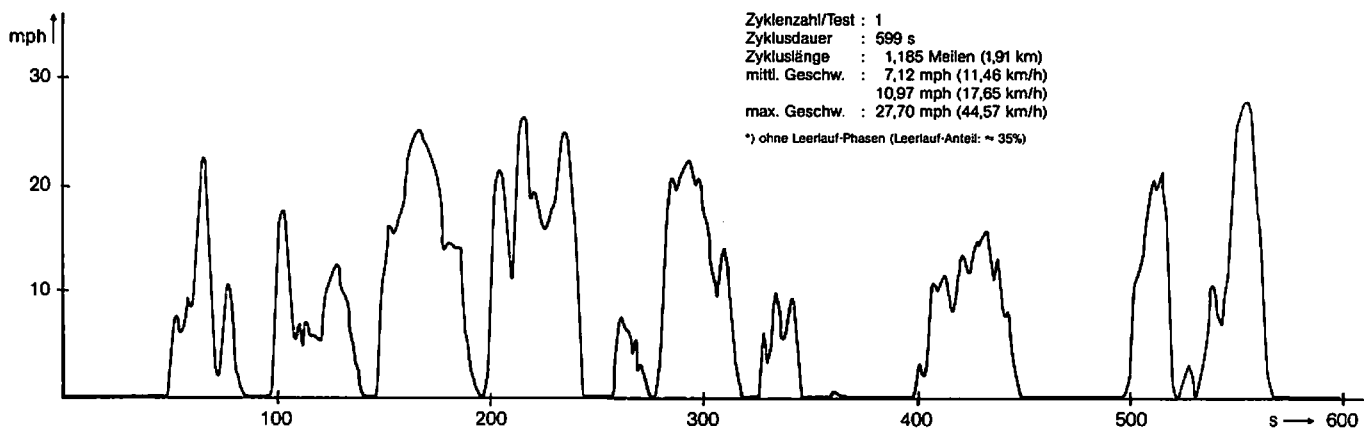


Bild II.8-7: Der „New York City“-Zyklus, nach [426].

Die Berechnung der Massenemission für die einzelnen Schadstoffkomponenten des Abgases erfolgt analog zur FTP nach dem schon in Bild II.6-16 dargestellten Prinzip.

Seinen Ursprung hat dieser Fahrzyklus in einer um 1972 in Kalifornien durchgeführten "vehicle operation study", die von der Stadt New York nachvollzogen wurde. Ausgangsidee dieser Studie war das Erfassen eines Verkehrs mit hoher Fahrzeugdichte und sehr niedriger Durchschnittsgeschwindigkeit. Der "New York City-Zyklus" spiegelt also speziell – wie der Name sagt – die Verhältnisse in der New Yorker Innenstadt wider und weicht damit erheblich vom LA-4-Zyklus der EPA ab (man rechnet z. B. für den normalen "Midtown" Manhattan-Verkehr nur mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 7 mph, d. h. 11,27 km/h) [427].

Zur Aufnahme des obengenannten Fahrverhaltens bediente man sich der "Trace-Car"-Methode, d. h. ein Meßwagen folgte einem willkürlich ausgewählten Fahrzeug (dessen Fahrer von der "Verfolgung" nichts wußte) und zeichnete in Sekundenabständen die Geschwindigkeit dieses Fahrzeugs auf. Mit der Zielsetzung, einen relativ kurzen, für den "Midtown" Manhattan-Verkehr bezüglich Beschleunigung, Verzögerung und Durchschnittsgeschwindigkeit repräsentativen Zyklus zu erhalten, berechnete man schließlich den Verlauf des in Bild II.8-7 gezeigten "New York City-Zyklus" [427].

Der Test diente den New Yorker Behörden bisher lediglich zur internen Erforschung der Auswirkung sehr stockenden Verkehrs auf das Emissionsverhalten von Fahrzeugen. Es war interessierten Gruppen freigestellt, den Test zu gleichartigen Untersuchungen

einzusetzen. Veröffentlichungen über Ergebnisse der New York Studien liegen nicht vor, man hat auch keine offiziellen Versuche gemacht, den "New York City Test" mit dem gesetzlichen Zertifikationstest zu korrelieren {427}.

Aufgrund einer im Jahre 1978 vorgeschlagenen Erweiterung des Zertifizierungsumfanges (Einbeziehen eines über das Temperaturniveau der FTP hinausgehenden Temperaturbereiches sowie Testen des Fahrzeugs unter anderen als den FTP-Fahrbedingungen) sollte der "New York City-Zyklus" als Repräsentant "verstopfter" Innenstädte mit wesentlich niedrigerer mittlerer Fahrgeschwindigkeit als der LA-4-Zyklus der FTP in das Zertifizierungsverfahren aufgenommen werden. Man hatte dem Zyklus hierbei die schon in Bild II.6-8 beschriebenen Grenzwerte zugedacht, kündigte jedoch im November 1978 einen Aufschub auf unbestimmte Zeit des zunächst für Modelljahr 1979 vorgesehenen Tests an.

## 8.2 Erfassung der Emissionssituation von Fahrzeugen im Feld

Aufgrund des im "Clean Air Act" festgelegten Auftrags entwickelte und verwaltet die US-EPA ein nationales Programm, um die Verunreinigung des landesweiten Luftraumes zu beschreiben, zu quantifizieren und zu reduzieren. Sie ist ebenfalls für die Anwendung dieses Programms zuständig und hat die auf mobile Emissionsquellen bezogenen Arbeiten ihrer "Emission Control Technology Division" (ECTD) übertragen. Zur Verantwortung der ECTD gehören die Entwicklung, die Anwendung und die Verwaltung von Programmen, um den Umfang des durch im Verkehr befindliche Fahrzeuge ("in-use vehicles") verursachten Luftverschmutzungsgrades abzuschätzen und zu verringern {428}.

### 8.2.1 Programme auf nationaler Basis: Das EPA "Emission Factors Program"

Eines der in diesem Rahmen durchgeführten Untersuchungsprogramme an im Verkehr befindlichen Fahrzeugen ist das sogenannte "Emission Factors Program", das nachfolgend - stellvertretend für zahlreiche weitere Überwachungsprogramme näher betrachtet werden soll. Es schließt Tests an einer Vielzahl von Personenwagen und leichten Nutzfahrzeugen ("light duty vehicles") in unterschiedlichen geographischen Regionen ein und wurde jährlich unter Einschaltung von unabhängigen Vertragslabors durchgeführt. Daten aus diesem Programm werden innerhalb der EPA durch den NADB und das "Office of Transportation Land Use Planning" (OTLUP) zur Berechnung und Vorhersage bundes- und stadtgebietsweiter Emissionen von Personenwagen und leichten Nutzfahr-

Rechnungsjahr	1971	1972	1973	1974	1975
Überprüfung von Fahrzeugen der Modelljahre	1957 bis 1971	1966 bis 1972	1967 bis 1974	1965 bis 1975	1966 bis 1977
Untersuchungs-Programm	In 6 US-Städten. Verdunstungsmessungen nur an einigen Fahrzeugen in Meereshöhe (Los Angeles) und Höhenlage (Denver)	ähnlich 1971	ähnlich 1971	Programm auf 7 US-Städte erweitert	- Pkw mit Dieselmotoren einbezogen. - Sulfattests - Kurztests - Verhalten bei Fehlfunktion des Emissionskontrollsystems

zeugen benutzt {428}.

Hauptziel des "Emission Factors Program" ist es, stets auf neuestem Stand befindliche Daten über Pkw- und leichte Nfz-Emissionen zu haben, um:

**Bild II.8-8:** „Surveillance“-Programme der US-EPA je Rechnungsjahr im Rahmen des „Emission Factors Program“, nach [429].

- verschiedene Strategien zur Kontrolle von mobilen Emissionsquellen zu erhalten,
- den Einfluß von mobilen Quellen mit fortschrittlichen Emissionskontrollsystemen auf die Luftqualität beurteilen zu können und
- Daten zu schaffen, um Aussagen über die Wirksamkeit von Inspektions/Wartungsprogrammen zur Verringerung des Beitrags mobiler Quellen zur Luftverunreinigung zu ermöglichen.

In Bild II.8-8 sind die seit Beginn dieser Untersuchung durchgeführten Programme zusammengefaßt.

#### 8.2.1.1 Das EPA-Programm des Rechnungsjahres 1975

Das modernste und vielseitigste der in Bild II.8-8 genannten (innerhalb des "Emission Factors Program" durchgeführten) "Surveillance"-Programme ist die Untersuchung

Gebiet der USA	Repräsentiert durch
Nordosten und nördliche große Ebenen mit langen Wintern	Chicago
Große Ebenen mit milden Wintern	St. Louis
Sehr warmes, feuchtes Klima	Houston
Gebiete in Höhenlagen	Denver
Ausgeglichenes, warmes Klima des Westens	Los Angeles
Typische Verhältnisse der Ostküste	Washington D.C.
Wüstengebiete	Phoenix

an Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren der Modelljahre 1966 bis 1976 im Rechnungsjahr ("Fiscal Year" - FY -) 1975. Neben dem Hauptziel dieses Programms, Emissionsdaten von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen zu erhalten, sollten auch Kurztest-Ergebnisse, Verbrauchsdaten und Verdunstungsemissionen erfaßt werden. Zusätzlich wollte man Sulfat-Emissionen von den mit bleifreiem Kraftstoff betriebenen 1975er und 1976er Fahrzeugen im Hinblick auf mögliche neue Grenzwerte messen [430].

**Bild II.8-9:** Im 1975er „Surveillance“-Programm der US-EPA repräsentierte geographische und klimatische Regionen, nach [431].

Gemäß dem grundlegenden Prinzip derartiger Studien,

Stadt	Anzahl getesteter Fahrzeuge	Fahrzeuge aus den Modelljahren	Tests	
			Fahrzeuge	Untersuchungen
Chicago	517	1966 bis 1976	Alle 44	Zertifikationstest (FTP-75) und 5 Kurztests Highway-Verbrauchstest (HWFET), Überwachungstest (SDS) + Konstantphasen
Denver	200	1970 bis 1976	Alle Alle von Mj. 75 und 76 44 20	Zertifikationstest (FTP-75), Überwachungstest (SDS) + Konstantphasen Sulfatstest (CFDS) Highway-Verbrauchstest (HWFET) Verdunstungstest (SHED)
Houston	133	1973 bis 1976	Alle Alle von Mj. 75 und 76 44	Zertifikationstest (FTP-75) Sulfatstest (CFDS) Highway-Verbrauchstest (HWFET), Überwachungstest (SDS) + Konstantphasen
Los Angeles	200	1970 bis 1976	Alle 34 22	Zertifikationstest (FTP-75), Modalanalyse + Konstantphasen Highway-Verbrauchstest (HWFET) Verdunstungstest (SHED)
St. Louis	506	1966 bis 1976	Alle 156 82 34 von Mj. 1976	Zertifikationstest (FTP-75) und 5 Kurztests Modalanalyse und Konstantphasen Sulfatstest (CFDS) Highway-Verbrauchstest (HWFET)
Wash. D.C.	133	1973 bis 1976	Alle 34 von Mj. 1976	Zertifikationstest (FTP-75) Highway-Verbrauchstest (HWFET)
Phoenix	499	1965 bis 1977	Alle Alle von Mj. 75 und 76 20 Diesel	Zertifikationstest (FTP-75) + 5 Kurztests <sup>1)</sup> Sulfatstest (CFDS) Überwachungstest + Konstantphasen <sup>1)</sup> außer Diesel
Σ	2188	FTP-75 = Federal Test Procedure ab Modelljahr (Mj.) 1975; HWFET = Highway Fuel Economy Test; SDS = Surveillance Driving Sequence; CFDS = Congested Freeway Driving Schedule.		

klimatische und geographische Verhältnisse wohlgeachtet einzubeziehen, wurde das 1975er Programm gegenüber den Vorjahren auf 7 US-Städte erweitert, die die in Bild II.8-9 wiedergegebenen Zonen repräsentierten. In Bild II.8-10 ist die Verteilung und Zusammensetzung der getesteten Fahrzeugflotte aufgeschlüsselt, gleichzeitig wird in diesem Bild die Vielzahl der verschiedenen zum Einsatz gelangten Testar-

**Bild II.8-10:** Übersicht der im Rechnungsjahr 1975 von der US-EPA im Rahmen des „Emission Factors Program“ durchgeführten Surveillance-Testarten in verschiedenen US-Städten (außer Untersuchungen über den Einfluß von Fehlfunktionen des Abgasreinigungssystems auf das Emissionsverhalten), nach [432, 433].

ten deutlich. Auf die einzelnen Testarten soll hier nicht näher eingegangen werden, da sie in Kap. 8.1 ausführlich beschrieben wurden.

Wichtig ist an dieser Stelle jedoch der Hinweis auf den enormen Aufwand, der an mehr als 1000 Fahrzeugen durch zusätzliche Anwendung von jeweils 5 verschiedenen Kurztestarten erbracht wurde. Diese Kurztests liefern bei der Testwagenbeurteilung per se keinerlei Aussage über ein Bestehen oder Nichtbestehen von Emissionsgrenzwerten, die nur im Zusammenhang mit der FTP Gültigkeit haben. Sie können jedoch bei Erfüllung der Voraussetzungen von Section 207 (b) (1) etc. des "Clean Air Act" einen Faktor höchster Bedeutung für Kundendienst und Garantiewesen eines Automobilherstellers darstellen, wie in Kap. 8.4 dargelegt wird.

#### 8.2.1.2 Auswertung des 1975er Programms

Da im Programm des Rechnungsjahres 1975, kurz "1975er Programm" genannt, Fahrzeuge bis zurück zum Modelljahr 1965 getestet wurden, als Testverfahren jedoch die FTP-75 Anwendung fand, mußte bei der Bewertung der Vor-1975-Fahrzeuge eine Konversion der Grenzwerte erfolgen. Die Konversion kann sich auf die 49 Staaten-Grenzwerte der Modelljahre 1973 und 1974 beschränken, da bei der nachfolgenden Diskussion der Testergebnisse hauptsächlich die Auswirkungen des Einsatzes der Katalysatortechnologie auf das Emissionsverhalten im praktischen Fahrzeugbetrieb betrachtet werden soll.

[g/m]	HC	CO	NO <sub>x</sub>
FTP-72	3,4	39	3,0
FTP-75	3,0	34	3,1

**Bild II.8-11:** Approximierte Konversion von FTP-75 auf FTP-72, anwendbar für Fahrzeuge der Modelljahre 1972 bis 1974, nach [434].

Dieser markante Einschnitt erfolgte beim Übergang von Modelljahr 1974 auf 1975. Die verwendete Konversion der zwischen diesen beiden Modelljahren unterschiedlichen Testmethode/Grenzwert-Kombination ist in Bild II.8-11 wiedergegeben.

Der zahlenmäßige Umfang des Programms für alle getesteten Modelljahre und die Verteilung der nachgeprüften Fahrzeuge zwischen US-Herstellern und Importeuren ist in Bild II.8-12 aufgeschlüsselt. Eine Zusammenfassung und detaillierte Auswertung aller Modelljahre wird in {436} gegeben. An dieser Stelle soll ein Vergleich zwischen US-Herstellern und Importeuren auf eine Gegenüberstellung der Emissionswerte von Fahrzeugen des Modelljahres 1976 (Katalysatorkonzepte) beschränkt werden. Das Ergebnis dieses Vergleichs ist in Bild II.8-13 gezeigt.

Größte Probleme gab es nach dieser Graphik sowohl bei US-Herstellern wie auch bei Importeuren im CO: Die CO-Emissionsmittelwerte lagen jeweils über dem zulässigen Grenzwert. Im HC und im NO<sub>x</sub> unterschritt der Mittelwert aller Fahrzeuge bei US- und Importfabrikaten den gesetzlichen Standard.

Da ein Fahrzeug nach seiner Fähigkeit, die zulässigen Standards für die drei limitierten Schadstoffe gleichzeitig zu unterschreiten, beurteilt werden muß, ist in Bild II.8-14 neben dem Emissionsniveau jeder einzelnen Schadstoffkomponente der prozentuale Anteil von Fahrzeugen genannt, die in dieser Hinsicht als "bestanden" gewertet werden können. Dieser Anteil war in Kalifornien mit 71 % am höchsten. In



Modelljahr Fahrzeug	1965 bis 1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
CHICAGO									
US-Fabrikate	48	27	31	36	40	43	42	41	126
Importe*)	2	3	4	4	5	7	8	9	24
*) Hersteller	VW	VW / Toyota	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun / Ford	VW / Toyota / Datsun / Ford / Mazda / Opel	VW / Toyota / Datsun / Ford / Mazda	VW / Toyota / Datsun / Mazda / Fiat / Honda	VW / Volvo / Toyota / Mazda / Fiat / Datsun / Ford / Honda
DENVER									
US-Fabrikate	0	0	17	19	21	22	22	23	28
Importe*)	0	0	3	3	4	5	5	5	6
*) Hersteller			VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun / Opel	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun
HOUSTON									
US-Fabrikate	0	0	0	0	0	22	22	23	28
Importe*)	0	0	0	0	0	5	5	5	6
*) Hersteller						VW / Toyota / Opel / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun
LOS ANGELES									
US-Fabrikate	0	0	17	19	21	22	22	23	28
Importe*)	0	0	3	3	4	5	5	5	6
*) Hersteller			VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun / Opel	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun
ST. LOUIS									
US-Fabrikate	48	27	31	36	40	43	42	40	122
Importe*)	2	3	3	4	5	7	8	8	24
*) Hersteller	VW	VW / Toyota	VW / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun / Ford	VW / Toyota / Datsun / Opel / Mazda / Ford	VW / Toyota / Datsun / Mazda / Ford	VW / Toyota / Datsun / Mazda / Honda / Fiat	Volvo / VW / Toyota / Mazda / Honda / Fiat / Datsun / Ford
WASHINGTON D.C.									
US-Fabrikate	0	0	0	0	0	22	22	23	28
Importe*)	0	0	0	0	0	5	5	5	6
*) Hersteller						VW / Toyota / Opel / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun
PHOENIX									
US-Fabrikate	48	27	31	36	40	43	42	40	127
Importe*)	2	3	4	4	5	7	8	9	24
*) Hersteller	VW	VW / Toyota	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun	VW / Toyota / Datsun / Ford	VW / Toyota / Datsun / Ford / Opel / Mazda	VW / Toyota / Datsun / Ford / Mazda	VW / Toyota / Datsun / Mazda / Honda / Fiat	Volvo / VW / Toyota / Mazda / Fiat / Honda / Datsun / Ford
PHOENIX (DIESEL)									
US-Fabrikate	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Importe*)	7	2	1	1	0	1	4	1	3
*) Hersteller	Daimler-Benz	Daimler-Benz	Daimler-Benz	Daimler-Benz	—	Daimler-Benz	3 x Daimler-Benz 1 x Peugeot	Daimler-Benz	Daimler-Benz

**Bild II.8-12:** Übersicht der seit Modelljahr 1965 im Rahmen des „Emission Factors Program“ der US-EPA nachgeprüften im Verkehr befindlichen Fahrzeuge in verschiedenen US-Städten aufgeteilt nach einheimischen Fabrikaten und Importen, nach [432, 435].

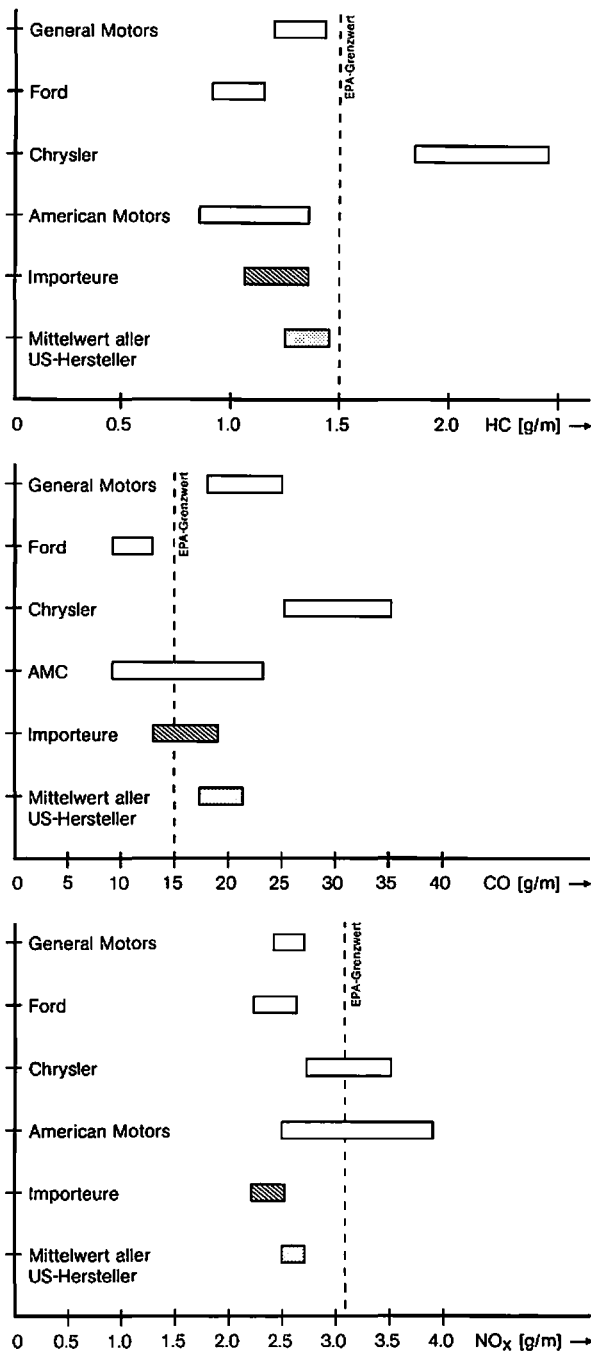


Bild II.8-13: Emissionsmittelwerte und 95%-Vertrauensintervall für im Verkehr befindliche Fahrzeuge des Modelljahres 1976 verschiedener Hersteller, nach [437].

den übrigen 49 Staaten konnte noch mit einer 47%igen Erfüllungsquote gerechnet werden, während im Höhen-Gebiet von Colorado nur noch 15 % aller getesteten Fahrzeuge die gesetzlichen Standards eingehalten haben.

Lediglich die Diesel-Pkw erfüllten die gültigen Grenzwerte (in allen Modelljahren seit 1965) zu 100 %.

Die Betrachtung der Mittelwerte allein reicht jedoch nicht aus, um das wahre Emissionsbild richtig zu charakterisieren. Der Variationskoeffizient der Messungen ( $s/\bar{x}$ ) ist deutlich höher als 50 %, bisweilen sogar größer als 100 %. Daher mögen trotz signifikant verschiedener Mittelwerte zweier getesteter Fahrzeuggruppen die Einzelmeßwerte beträchtliche Überschneidungen aufweisen. Um vernünftige Aussagen über das Vorliegen von Unterschieden oder Gleichheit von Emissionen in verschiedenen Gebieten oder von verschiedenen Fahrzeuggruppen machen zu können, müssen also stets Mittelwerte einer größeren gemischten Stichprobe herangezogen werden.

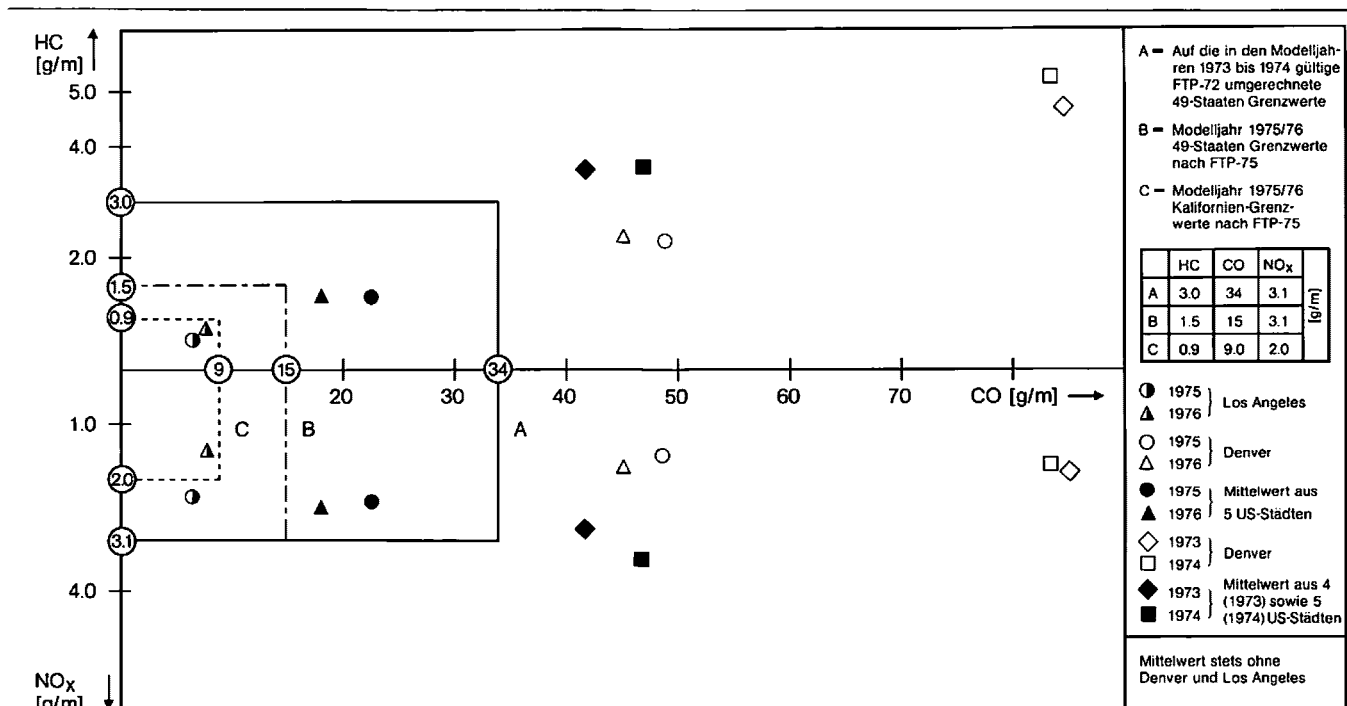
Wird das Ergebnis der FY75-Untersuchung mit den Daten der FY 71- bis 74-Programme verglichen, zeichnet sich ein allgemeiner Trend der mittleren HC- und CO-Emissionen ab, mit steigendem Fahrzeugalter zuzunehmen. Der Einfluß der geographischen Höhenlage auf das Emissionsniveau im Fahrzeugabgas sowie die Auswirkungen des Einsatzes der Katalysator-

technologie werden noch einmal in Bild II.8-15 veranschaulicht, das die Emissionsmittelwerte von Fahrzeugen der Modelljahre 1973 bis 1976 mit den jeweils gültigen gesetzlichen Standards vergleicht.

Ort Emission Testumfang →	gemessen an 49-Staaten Standards						gemess. an Kalif.-Std.	
	Mittelwert aus 5 Städten <sup>1)</sup>		Denver		Los Angeles		Los Angeles	
	[%]	Anzahl	[%]	Anzahl	[%]	Anzahl	[%]	Anzahl
HC	73	374	32	11	97	33	85	29
CO	62	317	15	5	91	31	79	27
NOx	81	416	94	32	94	32	91	31
Alle 3 Komponenten	47	243	15	5	85	29	71	24

Bem.: Die nachgeprüften Diesel-Pkw von Modelljahr 1965 bis 1977, 19 Fahrzeuge von Daimler-Benz, 1 Fahrzeug von Peugeot (siehe dazu auch Bild II.8-12) haben die gültigen Grenzwerte in allen 3 Komponenten unterschritten. <sup>1)</sup> ohne Denver und Los Angeles.

Bild II.8-14: Anteil der nachgeprüften Fahrzeuge des Modelljahres 1976, die die jeweiligen 1975/76 Standards (FTP-75) unterschritten, nach [438].



**Bild II.8-15:** Emissionsmittelwerte von Fahrzeugen verschiedener Modelljahre in amerikanischen Städten mit Auswirkungen des Einsatzes der Katalysator-Technologie ab Modelljahr 1975 und Auswirkungen der geographischen Höhenlage, nach [439 bis 442].

Das Problem der geographischen Höhenlage spiegelt sich ebenso gravierend wie in den Auspuffemissionen auch in den Verdunstungsverlusten wider. Bild II.8-16 zeigt die Ergebnisse von Verdunstungstests in Meereshöhe (Los Angeles) und Höhengebieten (Denver), wobei der Einfluß des verwendeten Testkraftstoffes untersucht wurde. Die Verwendung des (für Zertifizierungszwecke vorgeschriebenen) Testkraftstoffes "Indolene" ergab in Meereshöhe um den Faktor 2 höhere Verdunstungsverluste als handelsüblicher Kraftstoff.

Ort	Kraftstoff	Täglicher Verlust [g]		Heißabstell-Verlust [g]		Gesamt-Verlust [g/T]		Kombinierter Verlust [g/m *)
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
Denver (20 Fahrzeuge Mj. 1976)	Handelsüblich	22,3	12,8	10,8	6,1	33,1	16,1	1,24
	Indolene	18,4	10,7	11,6	6,7	30,0	14,5	1,93
Los Angeles (22 Fahrzeuge Mj. 1976)	Handelsüblich	2,91	2,3	2,96	2,7	5,9	3,9	0,43
	Indolene	7,15	6,6	5,18	4,0	12,3	7,5	0,82

\*) Kombiniertes Verlust [g/m] = (Täglicher Verlust + (Anzahl der Fahrten pro Tag × Heißabstell-Verlust))/Anzahl der gefahrenen Meilen pro Tag; wobei 3,3 Fahrten mit 29,4 Meilen angenommen werden.

**Bild II.8-16:** Vergleich der im US-EPA Surveillance-Programm ermittelten Einflüsse von Kraftstoffart und geographischer Höhenlage des Testortes auf die Masse der Verdunstungsverluste aus dem Kraftstofftank, nach [443, 444].

Als weitere Zusatzergebnisse des 75er Überwachungsprogramms seien Kraftstoffverbrauchs- und Sulfat-Werte genannt. Der "City"-Kraftstoffverbrauch (Verbrauch im LA-4-Zyklus) blieb (n.b.!) bei den getesteten Fahrzeugen mit Otto-Motoren

über fast 10 Modelljahre von 1966 bis 1975 in engen Grenzen konstant (Ergebnisse der 1974er Studie: 1966: 13,3 mpg; 1972: 13,7 mpg; 1975: 13,6 mpg; Ergebnisse der 1975er Studie: 1966: 13,4 mpg; 1972: 13,9 mpg; 1975: 14,1 mpg). Dem 1975er Surveillance-Programm sei ein ebenso interessanter Vergleich zwischen Modelljahr 1976-Fahrzeugen mit Otto- und Diesel-Motor entnommen. Die aus diesem Vergleich deutlich werdenden Verbrauchsvorteile des Diesel-Motors sind in Bild II.8-17 gezeigt.

Das Problem steigender Sulfat-Emissionen an Katalysatorfahrzeugen der Modelljahre

[mpg]	Anzahl Fzge.	Highway	City
Mittelwert aus 5 Städten (Otto-Motoren)	172	20,5	14,6
Phoenix (Diesel-Motoren)	20	31,3	24,2

1975 und 1976 mit Lufteinblasung wird in Bild II.8-18 veranschaulicht. In diesem Zusammenhang sei auch auf Kap. 6.6.2 verwiesen, in dem das Problem der Sulfat-Emissionen und ihrer ehemals geplanten gesetzlichen Begrenzung diskutiert wurde.

**Bild II.8-17:** Vergleich des Kraftstoffverbrauchs von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren im praktischen Betrieb, ermittelt an Modelljahr-1976-Fahrzeugen im US-EPA Surveillance Programm, nach [445, 446].

Abschließend muß auf ein bemerkenswertes Ergebnis bei der Untersuchung der verschiedenen Kurztests hingewiesen werden: Bei allen im 1975er Programm mitgeprüften "single-mode" Kurztestverfahren wurde eine

Korrelation zum Zertifikationstest (FTP-75) gefunden, wobei die Korrelationskoeffizienten  $> 0,8$  lagen [448]. Bild II.8-19 faßt diese Ergebnisse zusammen. Die EPA macht bei der Auswertung des FY 75-Programms [450] noch folgende Aussagen:

mit/ohne Lufteinblasung	HC [g/m]		CO [g/m]		NO <sub>x</sub> [g/m]		MPG		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> [mg/m]	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
mit 1)	0,66	0,93	6,44	8,24	3,22	1,33	17,26	3,66	7,42	7,63
ohne 2)	0,92	0,76	20,41	18,42	3,18	1,35	17,54	3,48	2,40	7,66
mit 3)	0,42	0,34	3,48	4,53	2,56	1,13	18,20	3,90	13,17	32,20
ohne 4)	0,67	0,65	12,52	13,27	3,14	1,46	18,45	3,02	2,85	8,56

1) 33 Modelljahr-1975-Fahrzeuge aus 3 Städten; 2) 51 Modelljahr-1975-Fahrzeuge aus 3 Städten; 3) 60 Modelljahr-1976-Fahrzeuge aus 3 Städten; 4) 131 Modelljahr-1976-Fahrzeuge aus 3 Städten.

- Die Korrelation der "multiple-mode" Kurztests zur FTP ist sehr schlecht.
- Der "Federal Short Cycle-Test" und der "New York City Cycle-Test" liefern höhere Korrelation als der "New Jersey/New York Composite Cycle-Test".

**Bild II.8-18:** Vergleich der Sulfat-Emissionen von Fahrzeugen der Modelljahre 1975 und 1976 jeweils mit und ohne Lufteinblasung, ermittelt im Surveillance-Programm der US-EPA, nach [447].

Tests geringere Korrelation zur FTP-75 aufweisen als die "single-mode" Tests, können Kombinationen dieser Einzelphasen definiert werden, die besser zur FTP korrelieren als die "single-mode" Tests.

- Die Wiederholbarkeit der Kurztests ist allgemein schlecht.

Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, daß die im 1975er Surveillance-Programm verwendeten Kurztests mit optimal betreuter meßtechnischer Ausrüstung gefahren wurden.

Kurztest	Test-art	Fahr-zustand	Anzahl Testfahr-zeuge	HC	CO	NO <sub>x</sub>
Federal Short Cycle	"single-mode" Tests	—	1016	0,945	0,932	0,916
New Jersey/New York		—	619	0,910	0,856	0,822
New York City		—	149	0,856	0,903	0,904
Clayton Key Mode	"multiple-mode" Tests	High Low Idle	1016	0,800 0,847 0,748	0,674 0,693 0,680	0,740 0,653 *)
Two Speed Idle		High Low		0,633 0,633	0,646 0,669	0,526 *)
Federal 3-mode		High Low Idle	1016	0,832 0,850 0,625	0,638 0,685 0,659	0,650 0,678 *)
Revised Fed. 3-mode		High Low Idle	397	0,718 0,813 0,541	0,751 0,768 0,660	0,720 0,646 0,219

\*) nicht signifikant  $> 0$

**Bild II.8-19:** Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Schadstoffkomponenten beim Vergleich verschiedener Kurztest-Verfahren mit der FTP-75, nach [449].

Diese Voraussetzung ist im normalen Werkstattbetrieb, wie er in den Garantieb Bestimmungen der Section 207 (b) des "Clean Air Act" im Falle einer Korrelation zwischen Kurztest und Zertifikations-test vorgesehen ist, meist nicht gegeben. Die Schwankungen der Testergebnisse wären also in der Praxis sicher höher als sie in dem hier diskutierten - unter optimalen Randbedingungen durchgeführten - Surveillance-Programm festgestellt wurden.

### 8.2.2 Programme auf einzelstaatlicher Basis: Übersicht

Nicht nur die Bundesbehörde (EPA), sondern auch zahlreiche Einzelstaaten und Städte der USA überwachen das Emissionsverhalten von Kraftfahrzeugen im Verkehr in mehr oder weniger umfangreichen Programmen. Diese Nachprüfungs-/Überwachungsprogramme beschränken sich aus Zeit- und Kostengründen auf eine Kontrolle der Leerlauf-Emissionen von CO und HC. Nur in wenigen Gebieten der USA werden diese Prüfungen bis heute routinemäßig praktiziert, obwohl annähernd seit Beginn der ersten Bemühungen zur Emissionskontrolle an Fahrzeugen bekannt ist, daß ohne unzumutbaren Kosten- und Zeitaufwand nennenswerte Verringerungen der Schadstoffemissionen aus Motorfahrzeugen durch derartige "Inspection and Maintenance" (I/M)-Programme erzielbar sind. In Bild II.8-20 sind diejenigen Gebiete, in denen Leerlauf-Inspektionen durchgeführt werden, zusammengefaßt und die entsprechenden Grenzwerte aufgeführt. Bild II.8-21 erläutert abschließend noch in einer generellen Übersicht die Eigenarten der I/M-Programme verschiedener US-Bundesstaaten.

In den nachfolgenden Kapiteln seien die diesbezüglichen Aktivitäten von New Jersey näher betrachtet, da dieser Staat bei dem Versuch zu kostengünstiger und trotzdem möglichst effektiver Nachkontrolle von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen umfangreiche Arbeit geleistet hat und auf diesem Gebiet in den USA eine Pionierstellung einnimmt.

#### 8.2.2.1 New Jersey und der "New Jersey ACID-Test"

Die Luftreinhaltungsaktivitäten des Staates New Jersey wurden durch die Gesetzgebung des "Air Pollution Control Act" von 1954 eingeleitet. Obwohl die vorhandene Gesetzgebung seit vielen Jahren bereits die Emission von übermäßigem Rauch verbot, wurde erst durch ein Gesetz vom Frühjahr 1966 die Grundlage für das heutige New Jersey Fahrzeug-Emissionsüberprüfungs-/Instandsetzungsprogramm geschaffen {453}. Gleichzeitig wurden Strafen zwischen 25 und 100 US-\$ vorgesehen, wenn Fahrzeuge im Betrieb auf den Straßen New Jerseys unzulässig hohe Rauchmengen oder andere Emissionen verursachten. Eine Ausnahmegenehmigung von den New Jersey-Standards erhielten alle 2-Takt Saab-Motoren der Modelljahre vor 1968 {454}.

Das im Frühjahr 1966 verabschiedete Gesetz forderte das "State Department of Health" auf, für alle Fahrzeuge Emissionsgrenzwerte zu erlassen, die bei Nachprüfungen in Prüfstationen und auf der Straße eingehalten werden müssen. New Jersey war hierbei in der glücklichen Lage, daß es über eine Anzahl staatlicher Prüfstationen verfügte, in denen seit 1938 Fahrzeuge routinemäßig auf Sicherheitskriterien überprüft wurden. Das obengenannte New Jersey-Gesetz wurde als Ergänzung zu den Vorschriften des "Clean Air Act" des Bundes verstanden, nach dessen Auflagen das DHEW ab Modelljahr 1968 zwar Neufahrzeuge nach gesetzlichen Grenzwerten zertifizierte, der jedoch keine Standards für im Verkehr befindliche Fahrzeuge enthielt. Die Überwachung der letztgenannten Fahrzeuggruppe konnte also nur auf regionaler Basis erfolgen {455}. Die von New Jersey festgesetzten Leerlauf-Standards betrafen sowohl die nach den Vor-

Staat/ Stadt	Einsatz- datum	Vorschriften			Staat/ Stadt	Einsatz- datum	Vorschriften		
		Betroffene Fahrzeuge	CO [Vol.%]	HC [ppm]			Betroffene Fahrzeuge	CO [Vol.%]	HC [ppm]
Arizona	Jan. 1976	vor 1968 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	9,5 9,5	2000 1500	Portland Oregon	1. 7. 1975	vor 1968 { die angegebenen CO- 1968–1971 Grenzwerte gelten nur 1972 für Daimler-Benz 1973–1974 Fahrzeuge. Werte 1975–1976 <sup>1)</sup> für andere Fabrikate 1975–1976 <sup>2)</sup> siehe [451] alle Diesel	6,0 + 0,5 5,0 + 1,0 4,0 + 1,0 2,0 + 1,0 1,0 + 0,5 0,5 + 0,5 1,0 + 0,5	<sup>1)</sup> Gültig für 4-Zyl.-Motoren 1976: Nicht- Katalysator- Fahrzeuge <sup>2)</sup> alle übrigen Fahrzeuge
		1968–1971 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,0 8,0	850 750			vor 1968 { ≤ 4 zyl.; < 50 cu.in. (820 cm <sup>3</sup> ) > 4 zyl.		1600 + 250 1300 + 250
Chicago	Juni 1973	1972–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	7,2 7,0	450 400			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
		ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	3,3 7,0	250 400			1970–1971		500 + 200
Kalifornien	Phase I: 2. 9. 1975	alle 2-Takter	6,0	18000			1972–1974 { 4 zyl. alle anderen		400 + 200 300 + 200
		vor 1968 { ≤ 4 zyl. 1968–1969 ≤ 5 zyl.	8,0 8,0	1900 1200	Nevada	1. 7. 1977	1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100
Chicago	Juni 1973	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	5,0 4,0	600 500			Nachprüfungstoleranzen bis Juni 1977. HC-Grenzwerte nicht hersteller- spezifisch aufgeteilt; 2-Takter und Diesel = kein HC-Check; kein sicht- barer Rauch aus Auspuff und Kurbelgehäuse. Bei Dieseln und 2-Taktern max. 20% Opazität zugelassen.		
		1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	4,0 1,5	500 250	Rhode Island	1. 1. 1979	vor 1968 { > 4 zyl. alle anderen		1600 + 250 1300 + 250
Kalifornien	Phase II: Jan. 1979	1968–1970 { ≤ 4 zyl. ≤ 5 zyl. + Lufteinblasung	7,0 5,5	650 400			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
	Phase III: noch nicht definiert, eventuell nicht mehr LL-Test	1968–1970 { ≤ 4 zyl. ≤ 5 zyl. + Lufteinblasung	7,0 5,5	500 400	Washington D.C. (Versuch)		1970–1971		500 + 200
New Jersey	Phase I: 1. 2. 1974	ab 1971 { ≤ 4 zyl. ≤ 5 zyl. + Lufteinblasung	5,0 3,5 4,0 3,0	600 450 350 250			1972–1974 { 4 zyl. alle anderen		400 + 200 300 + 200
	Phase II: 1. 11. 1975	vor 1968 { ≤ 4 zyl. 1968–1969 ≤ 5 zyl.	10,0 8,0 6,0	1600 800 600	Washington D.C. (Versuch)		1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100
New Jersey	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			Zusätzlich muß das Emissionskontrollsystem ab Modelljahr 1971 gemäß Herstellerangaben eingestellt sein.		
	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300	Rhode Island	1. 1. 1979	vor 1968 { > 4 zyl. alle anderen		1600 + 250 1300 + 250
New Jersey	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700	Washington D.C. (Versuch)		1970–1974 { 4 zyl. alle anderen		500 + 200 400 + 200
	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100
New Jersey	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			Zusätzlich muß das Emissionskontrollsystem ab Modelljahr 1971 gemäß Herstellerangaben eingestellt sein.		
	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700	Rhode Island	1. 1. 1979	vor 1968 { > 4 zyl. alle anderen		1600 + 250 1300 + 250
New Jersey	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			1970–1974 { 4 zyl. alle anderen		500 + 200 400 + 200
New Jersey	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100
	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			Zusätzlich muß das Emissionskontrollsystem ab Modelljahr 1971 gemäß Herstellerangaben eingestellt sein.		
New Jersey	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			vor 1968 { > 4 zyl. alle anderen		1600 + 250 1300 + 250
	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
New Jersey	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			1970–1974 { 4 zyl. alle anderen		500 + 200 400 + 200
	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100
New Jersey	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			Zusätzlich muß das Emissionskontrollsystem ab Modelljahr 1971 gemäß Herstellerangaben eingestellt sein.		
	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			vor 1968 { > 4 zyl. alle anderen		1600 + 250 1300 + 250
New Jersey	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			1970–1974 { 4 zyl. alle anderen		500 + 200 400 + 200
New Jersey	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100
	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			Zusätzlich muß das Emissionskontrollsystem ab Modelljahr 1971 gemäß Herstellerangaben eingestellt sein.		
New Jersey	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			vor 1968 { > 4 zyl. alle anderen		1600 + 250 1300 + 250
	Phase I: 1. 2. 1974	1970–1974 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	6,0 3,0	600 300			1968–1969 { 4 zyl. alle anderen		800 + 200 600 + 200
New Jersey	Phase II: 1. 11. 1975	ab 1975 { < 6000 lbs; > 6000 lbs; } alle zyl.	7,5 6,0 4,0 2,0	1200 600 400 200			1970–1974 { 4 zyl. alle anderen		500 + 200 400 + 200
	Phase III: ab Jan. 1975	1968–1969 { > 2000 lbs; ≤ 4 zyl. > 2000 lbs; ≤ 5 zyl.	8,5 7,0	1400 700			1975–1976 { ohne Katalysator mit Katalysator		200 + 100 125 + 100

Bild II.8–20: Übersicht der Leerlauf-Inspektionstest-Grenzwerte im Rahmen der „Inspection and Maintenance“ (I/M)-Programme für im Verkehr befindliche Fahrzeuge in verschiedenen Städten und Staaten der USA, nach [451].

Staat/ Stadt	Programm	Anzahl geprüfter Fahrzeuge. *)	Chronologie	Anzahl Testanlagen	Bemerkungen	Gesetzgebung und Vorschriften
Arizona	Vertragslabor. Feste und mobile Stationen. „Loaded Mode Test“ möglich. Vorschriften aber nur für Schadstoffemissionen im Leerlauf.	~ 1,1 Mio. Fahrzeuge incl. Nfz und Motorräder  *) pro Jahr	Freiwilliges Testen begann im Dezember 1975. Vorschriften ab Januar 1976. Instandsetzung wurde ab Januar 1977 gefordert.	12 feste Stationen mit 36 Prüfbahnen. 1 mobile Station.	10 Minuten Wartezeit zu Spitzenzeiten. Probleme am Monatsende und zu Spitzenzeiten aufgetreten. Gesamt-Inspektionszeit: 5 Min. Anfänglich negative Reaktion der Fahrzeugbesitzer. Erstes I/M-Programm der USA, das von einem Vertragslabor ausgeführt wird, und die Kosten für den Staat Arizona minimal hält. Fzge. werden auf „Tampering“ und PCV/Ventil-Funktion geprüft.	HC- und CO-Grenzwerte im Leerlauf sowie langsamer und schneller Konstantfahrt abhängig vom Motortyp (2- oder 4-Takt), Modelljahr (4 Stufen), Fahrzeuggewicht, Zylinderzahl. Fzge. müssen Grenzwerte nur im Leerlauf erfüllen. Test im nicht-stationären Motorbetrieb nur zu Diagnosezwecken. Für Diesel-Motoren gilt ein Opaizitätsgrenzwert von 20%. Alle Fahrzeuge mit einem Hubraum von > 50 cm³ (incl. 2-Takt und Diesel) sind betroffen. Neufahrzeuge werden erst nach 1 Jahr getestet. Fzge., die älter als 13 Jahre sind, müssen die Vorschriften nicht mehr erfüllen. Die Überprüfung erfolgt jährlich.
Chicago	Feste und mobile von der Stadt betriebene Stationen. „Leerlauf-Test“.	Nur im Stadtgebiet von Chicago: 1,0 Mio. Fzge. Geprüft wird aber auch jedes sonst vorgestellte Fzge.	Beginn der Inspektionen im Juni 1973. EPA forderte von Chicago eine Inspektionsrate von 3000 Fzgn. pro Tag. Bei Nicht-Erreichen dieser Quote sollte Chicago ab März 1976 ein volles I/M-Programm anwenden. Stadt erreichte Quote nicht, EPA hat jedoch nichts unternommen.	5 feste Stationen mit je 2 Prüfbahnen. 6 mobile Stationen mit ebenfalls je 2 Prüfbahnen. Die Anzahl der festen Stationen varierte in den letzten Jahren und betrug max. 9.	Keine Probleme mit Wartezeiten. Es werden jedoch nur < 20% aller Fzge. Chicagos inspiziert. Chicago beauftragt gesetzlich gefordertes I/M-Programm unter 3 Bedingungen: 1. Bundesbehörde und Autohersteller sind sich einig über Garantieprogramm (Sec. 207 (b) des Clean Air Act) 2. Autohersteller erfüllen die „Statutory“ Emissionsgrenzwerte 3. Das I/M-Programm muß regionenweise angewendet werden wegen der vielen Nicht-Chicago-Fahrzeuge auf Chicagos Straßen.	Da die Inspektion gesetzlich zwar vorgeschrieben ist aber nicht durchgesetzt wird, ist die Beteiligung am Test als freiwillig anzusehen. Auch die Instandsetzung ist freiwillig. HC- und CO-Grenzwerte für 4 Modelljahrguppen.
Cincinnati und Hamilton County	Feste von der Gemeinde betriebene Anlagen. „Leerlauf-Test“.	Gesamt Hamilton County: ~ 500 000 Fahrzeuge	Volles gesetzlich gefordertes I/M-Programm begann in Cincinnati und Norwood am 1. Januar 1975. Keine freiwillige Übergangsphase. Newton begann im August 1975 und Glenway im September 1975. Am 1. Februar 1976 ordneten die Aktionen in Newton und Glenway.	4 feste Anlagen mit zusammen 10 Prüfbahnen.	Keine größeren Probleme mit Wartezeiten. Erschreckend niedriger Fzg.-durchsatz mangels gesetzlichen Zwanges veranlaßte Hamilton County am 1. Februar 1976 den Betrieb wieder einzustellen. Wegen fehlender Übergangsphase und Werbung für das Programm wurden die Fzg.-besitzer von dem Programm überrascht.	Gleiche Grenzwerte wie Chicago, 4-Stufen-Standards abhängig vom Modelljahr. Fzge. können von der Stadt nur nach bestandener Prüfung zugelassen werden. Überprüfung und Instandsetzung werden gesetzlich gefordert.
Kalifornien	Feste, vom Staat betriebene Anlage in Riverside. Programm in 3 Phasen aufgeteilt. Phase I: Gesetzlich geforderte Inspektionen, freiwillige Instandsetzung (abgeschlossen). Phase II: Anwendung allein des Leerlauftests. Phase III: Testart liegt noch nicht fest.	Phase I (nur das Stadtgebiet von Riverside): 120 000 Pkw. Phase II u. III (incl. Rest des „South Coast Air Basin“): ~ 6,6 Mio. Fahrzeuge.	Phase I, dieses „Pilot-Programm“ begann mit Inspektionen am 2. September 1975. Die zweite Teststation wurde am 19. Februar 1976 eröffnet. Phase II soll im Januar 1979 beginnen. Phase III benötigt noch weitere gesetzliche Grundlagen. Unter Phase II wird das Programm auf 18 bis 19 Teststationen mit 43 bis 45 Prüfbahnen ausgedehnt.	2 feste Stationen mit 6 Prüfbahnen.	Keine Wartezeiten in Phase I während der per Computer eine konstante Zahl von Fzg.-besitzern täglich ausgewählt wurde. Gesamt-Inspektionszeit: 7 Min. Wartezeit für Phase II wird mit < 10 Min. für die Mehrzahl der Fzge. mit Maximalwartzeiten zu Spitzenzeiten von 20 Min. angestrebt. Hervorragende Annahme des Programms durch die Fzg.-besitzer. Kombination von Abgasanalyse, Motorkontrolle und Computertechnologie.	Grenzwertgruppen für verschiedene Modelljahre und Motoren, sowie das Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein von Lufteinblasung. Vor-1955 Fzge. und Fzge. mit einem Gewicht von > 6000 lbs sind vom Programm ausgenommen. Bei Phase II wird eine Überprüfung bei Zulassungswechsel (Kauf, Zuziehen nach Kalifornien etc.) erforderlich, wobei der Test bestanden werden muß. Bei Phase III muß der Test zusätzlich der jährlichen Zulassungs Erneuerung und bei Wechsel der Zulassung bestanden werden.
Nevada	„Leerlauf-Test“ durch autorisierte Service-Stationen, Garagen und Autohändler. Schließt Prüfung und Einstellung der Fahrzeug-Spezifikationen ein.	Derzeit nur Clark County: ~ 200 000 Fahrzeuge	Ein Test- und Inspektions-Pilotprogramm begann im Juli 1974 beim Fzg.-besitzerwechsel in Clark County. Das ab 1. Juli 1975 geplante jährliche Überprüfungsprogramm wurde aufgeschoben. Das staatliche Umweltschutzamt verlangte die Durchführung einer sorgfältigen Studie über gesetzliche I/M-Programme (Nevada Assembly Bill 464, gültig ab 1. Juli 1977). Gesetzl. I/M-Programm soll in allen „Counties“ > 100 000 Einwohner bis 1. Juli 1979 eingeführt sein.	~ 120 bis 125 lizenzierte private Stationen in Clark County.	Keine Probleme mit Wartezeiten. Bei Besitzerwechsel werden Inspektion und Instandsetzung als Teil der Fahrzeugvorbereitung im Routineprogramm vom Fzg.-händler erledigt. Kaum Klagen von Fahrzeugbesitzern. Kombination von Prüfung und Einstellung der wesentlichsten Hersteller-Spezifikationen (Verbesserung von Leistung, Emissionen und Verbrauch).	HC- und CO-Standards für 3 Modelljahrguppen. Fahrzeuge können ohne bestandenen Leerlauftest nicht zugelassen werden. Jährliche Inspektion und Instandsetzung sollen ab Juli 1979 erfolgen.
New Jersey	Vom Staat betriebene feste Stationen. „Leerlauf-Test“.	Gesamter Staat von New Jersey: ~ 3,9 Mio. Fzge.	Inspektionen mit freiwilliger Instandsetzung begannen im Juli 1972. Das volle gesetzliche I/M-Programm begann am 1. Februar 1974 mit den Phase I-Grenzwerten. Am 1. November 1975 setzten die Phase II-Grenzwerte ein. Die zum 1. Februar 1976 geplanten Phase III-Standards wurden auf 1978 verschoben.	38 feste Anlagen mit 68 Prüfbahnen. 1 mobiles Fzg., das die Anlagen routinemäßig abgleicht.	Bedeutende Wartezeiten noch in Phase I und II. Zahlreiche Fahrzeuge bestanden den Test aufgrund dieser langen Wartezeiten unnötigerweise nicht („hot idle“-Effekt) und vergrößerten wegen des CO-Nachtests die Warteschlangen. Zweijähriges Ausnahmegenehmigung für Neufahrzeuge bedeutet Test erst nach ~ 30 000 Meilen. Ältestes I/M-Programm der USA. 13% CO-Reduktion in der Umgebung seit Programmbeginn (gleichbleibend).	Gesetzlich geforderte Überprüfung und Instandsetzung. Fzge., die den Test nicht bestehen, können von autorisierten Werkstätten nachgetestet werden. Fzge. können nur nach bestandener Prüfung zugelassen werden. Neufahrzeuge werden erst nach 2 Jahren geprüft. Grenzwerteinsatz mit 4 Grenzwertgruppen in 3 Phasen, abhängig vom Modelljahr.
Portland (Oregon)	„Leerlauf-Test“ durch feste und mobile Stationen.	~ 580 000 Fahrzeuge ≤ 8400 lbs	Freiwillige Inspektion und Wartung begannen im Januar 1974. Innerhalb von 18 Monaten wurden 105 000 Fzge. getestet. Keine Übergangsphase von freiwillig zu gesetzlichem Zwang. Volles I/M-Programm ab 1. Juli 1975.	14 feste Stationen mit 25 Prüfbahnen. 4 mobile Stationen mit 5 Prüfbahnen.	Durchschnittliche Wartezeit im Jahr 1976: 15 Minuten. Gesamt-Inspektionszeit im Mittel: 3 Min. Prüfung eingebunden in 2jähriges Registrierungssystem. Öffentlichkeit kritisiert Mangel an Einheitlichkeit. Der Test schließt Vorkonditionierung zur Vermeidung des „hot idle“ Effekts ein. Anzeichen dafür, daß Fahrzeuge teilweise nach bestandener Prüfung wegen schlechten Fahrverhaltens neu eingestellt werden.	Gesetzlich geforderte Inspektion und Instandsetzung auf 2jähriger Basis. Bemühungen zur Schaffung der gesetzlichen Voraussetzungen für kürzere Überprüfungsintervalle. Verschiedene Grenzwerte basierend auf den Herstellerspezifikationen unter Berücksichtigung von Modelljahrguppen, Herstellergruppen, Motormodifikationen. Fzg. kann bei zu hoher Leerlaufdrehzahl oder sichtbarem Rauch abgewiesen werden.
Rhode Island	„Leerlauf-Test“ im Zusammenhang mit der Sicherheitsinspektion durch zertifizierte private Werkstätten.	~ 0,5 Mio. Fahrzeuge	Inspektionen begannen am 1. November 1977 mit freiwilliger Instandsetzung. Volles I/M-Programm ab 1. Januar 1979.	~ 600 private Werkstätten im ganzen Staat. 1 vom Staat betriebene Referenzstation.	Die Inspektion dauert insgesamt ~ 30 bis 40 Minuten. Die meisten Werkstätten arbeiten auf Vorbestellungsbasis. Bis zum 18. Dezember 1977 hatten 69,6% der Fahrzeuge bestanden. Von den restlichen Fahrzeugen wurden 28,7% freiwillig instandgesetzt.	Während des ersten Jahres der Programm-Anwendung wurden die New Jersey Standards der Phase I als Zwischenlösung übernommen.

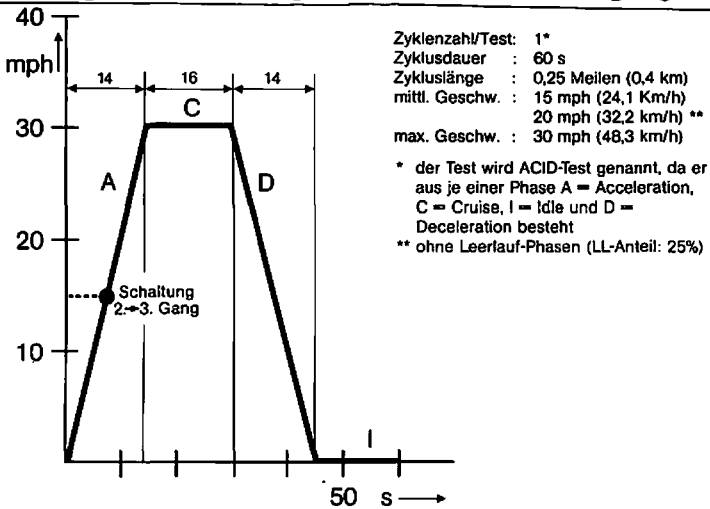
Bild II.8-21: Übersicht und Charakterisierung der „Inspection and Maintenance“ (I/M)-Programme in Städten und Staaten der USA bis zum September 1977, nach [452].

Fahrzeug- Modelljahr	Einsatzdatum					
	1. 2. 1974		1. 2. 1975		1. 2. 1976	
	CO [Vol.%]	HC [ppm]	CO [Vol.%]	HC [ppm]	CO [Vol.%]	HC [ppm]
vor 1967	10.0	1600	8.5	1400	7.5	1200
1968-1969	8.0	800	7.0	700	6.0	600
1970-1974	6.0	600	5.0	500	4.0	400
1975-1976	—	—	3.0	300	—	—

**Bild II.8-22:** New Jersey Inspektions-Grenzwerte für Emissionen im Leerlauf anlässlich der jährlichen Fahrzeugkontrolle, nach [456, 457].

les Emissionsniveau zu verbessern, versuchte New Jersey zunächst, einen Kurztest zu finden, der gute Korrelation zum offiziellen Zertifikationstest (damals noch der 7-mode-Kalifornientest) aufwies, keine unzumutbaren Kosten bezüglich Anschaffung von Prüfausrüstung sowie Training und Durchführung verursachte, minimalen Zeitaufwand erforderte und - wenn möglich - gleichzeitig Hinweise auf erforderliche Einstell- und Reparaturarbeiten geben konnte. Die Festlegung eines kurzen Emissionstests, der bei den jährlichen Fahrzeugüberprüfungen ohne stark verzögernden Effekt eingebaut werden konnte, mußte sich an der normalen Fahrzeugdurchlaufzeit durch die vorhandenen Teststationen von etwa 1 1/2 bis 2 Minuten orientieren. Daher sollte der zu entwickelnde Test nicht länger als 1 Minute dauern. Man entschied sich hierbei gegen einen Bauteiletest, da der Staat New Jersey das Endergebnis des Zusammenwirkens aller Komponenten bei der in die Atmosphäre emittierten Schadstoffmenge erfassen wollte [458].

Mittels umfangreicher statistischer Tests an "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen wurden die bedeutendsten Fahrabschnitte zur Vorhersage der CO- und HC-Emissionen herausgearbeitet. Es zeigte sich - wie aufgrund der Wichtungsfaktoren des offiziellen 7-mode-Zulassungstest zu erwarten war - daß bei "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen die Beschleunigungsphase am bedeutendsten war. Die 30 mph Konstantfahrt war für das CO-Ergebnis, die Verzögerungsphase von 30 auf 15 mph für das HC-Ergebnis wichtig. Aus diesen Überlegungen heraus entstand der 1minütige New Jersey-Kurztest, genannt "ACID-Test", wie er in Bild II.8-23 dargestellt ist. Anschließende umfangreiche Untersuchungen zeigten, daß der ACID-Test beim Vergleich zu sonst noch existierenden Kurztests am besten zum 7-mode-Zulassungstestergebnis korrelierte. Das Ergebnis (HC, CO) des "ACID-Tests" wurde hierbei als Massenemission zu einem gewichteten Endergebnis errechnet [459].



**Bild II.8-23:** Der New Jersey ACID-Test zur Emissions-Schnellinspektion von PKW (angewendet von 1968-1972), nach [459, 460].

schriften des "Clean Air Act" zertifizierten Fahrzeuge ab Modelljahr 1968 wie auch ältere Modelle. Eine Zusammenstellung dieser Grenzwerte findet sich in Bild II.8-22.

Bei den Bemühungen, wenigstens die Höchstemittenten von der Straße fernzuhalten oder sie durch Reparatur oder Einstellmaßnahmen auf ein normales Emissionsniveau zu verbessern, versuchte New Jersey zunächst, einen Kurztest zu finden, der gute Korrelation zum offiziellen Zertifikationstest (damals noch der 7-mode-Kalifornientest) aufwies, keine unzumutbaren Kosten bezüglich Anschaffung von Prüfausrüstung sowie Training und Durchführung verursachte, minimalen Zeitaufwand erforderte und - wenn möglich - gleichzeitig Hinweise auf erforderliche Einstell- und Reparaturarbeiten geben konnte. Die Festlegung eines kurzen Emissionstests, der bei den jährlichen Fahrzeugüberprüfungen ohne stark verzögernden Effekt eingebaut werden konnte, mußte sich an der normalen Fahrzeugdurchlaufzeit durch die vorhandenen Teststationen von etwa 1 1/2 bis 2 Minuten orientieren. Daher sollte der zu entwickelnde Test nicht länger als 1 Minute dauern. Man entschied sich hierbei gegen einen Bauteiletest, da der Staat New Jersey das Endergebnis des Zusammenwirkens aller Komponenten bei der in die Atmosphäre emittierten Schadstoffmenge erfassen wollte [458].

Mittels umfangreicher statistischer Tests an "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen wurden die bedeutendsten Fahrabschnitte zur Vorhersage der CO- und HC-Emissionen herausgearbeitet. Es zeigte sich - wie aufgrund der Wichtungsfaktoren des offiziellen 7-mode-Zulassungstest zu erwarten war - daß bei "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen die Beschleunigungsphase am bedeutendsten war. Die 30 mph Konstantfahrt war für das CO-Ergebnis, die Verzögerungsphase von 30 auf 15 mph für das HC-Ergebnis wichtig. Aus diesen Überlegungen heraus entstand der 1minütige New Jersey-Kurztest, genannt "ACID-Test", wie er in Bild II.8-23 dargestellt ist. Anschließende umfangreiche Untersuchungen zeigten, daß der ACID-Test beim Vergleich zu sonst noch existierenden Kurztests am besten zum 7-mode-Zulassungstestergebnis korrelierte. Das Ergebnis (HC, CO) des "ACID-Tests" wurde hierbei als Massenemission zu einem gewichteten Endergebnis errechnet [459].

Mittels umfangreicher statistischer Tests an "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen wurden die bedeutendsten Fahrabschnitte zur Vorhersage der CO- und HC-Emissionen herausgearbeitet. Es zeigte sich - wie aufgrund der Wichtungsfaktoren des offiziellen 7-mode-Zulassungstest zu erwarten war - daß bei "ungereinigten" und "gereinigten" Fahrzeugen die Beschleunigungsphase am bedeutendsten war. Die 30 mph Konstantfahrt war für das CO-Ergebnis, die Verzögerungsphase von 30 auf 15 mph für das HC-Ergebnis wichtig. Aus diesen Überlegungen heraus entstand der 1minütige New Jersey-Kurztest, genannt "ACID-Test", wie er in Bild II.8-23 dargestellt ist. Anschließende umfangreiche Untersuchungen zeigten, daß der ACID-Test beim Vergleich zu sonst noch existierenden Kurztests am besten zum 7-mode-Zulassungstestergebnis korrelierte. Das Ergebnis (HC, CO) des "ACID-Tests" wurde hierbei als Massenemission zu einem gewichteten Endergebnis errechnet [459].

Der Test bedingte die Verwendung eines Rollenprüfstandes, der jedoch



nicht mit variablen Schwungmassen ausgerüstet sein mußte (Kosten eines Prüfstandes mit variablen Schwungmassen damals ungefähr 20.000 US-\$). Der für das ACID-Fahrprogramm nötige Prüfstand mit einer für alle Fahrzeuge festen Massensimulation von 3000 lbs kostete damals nur etwa 6.000 bis 7.000 US-\$). Die Bremslasteinstellung war ebenfalls für alle Fahrzeuge konstant und betrug 3,5 HP bei 30 mph. Die Fahrzeuge waren bei einer Geschwindigkeit maximal im 3. Gang zu fahren, die Leerlaufphasen wurden (bei automatischem Getriebe) in Stellung "D" absolviert. Die Abgasanalyse erfolgte mittels NDIR-Gerät für CO sowie einem FID für HC, wobei eine CVS-Technik angewendet wurde. Zusätzlich beinhaltete der Testaufbau ein Opazimeter zur Rauchtrübungsmessung. Etwa 40 Fahrzeuge konnten diesem Test pro Stunde unterzogen werden {460}.

Der "ACID-Test" wurde zur Erfassung der Emissions-"Baseline" von 1968 bis 1972 eingesetzt, jedoch gab es für ihn nie Grenzwerte. Man unterbrach seine Anwendung schließlich, da der ab Modelljahr 1972 gültige offizielle Zertifikationstest ein neues Fahrprogramm (LA-4-Zyklus) beinhaltete, zu dem der ACID-Test nicht mehr korrelierte. Außerdem war er für den Einsatz auf großer Breite im Feld im Vergleich zu einer einfacheren Testart, die das Ziel des Erfassens von Höchst-Emittenten vergleichbar gut erreichen konnte und nachfolgend erläutert wird, zu teuer {455}.

#### 8.2.2.2 Das "New Jersey REPAIR-Projekt" und der "New Jersey Idle Test"

Im Sommer 1970 und Winter 1970/71 wurden mehr als 2.500 Fahrzeuge in einem staatlichen Testlabor einem Leerlauftest unterzogen {461}. Anhand dieser "baseline"-Daten konnten die in Bild II.8-24 dargestellten Verteilungskurven der Leerlaufemissionen von Fahrzeugen verschiedener Modelljahre erarbeitet werden. Beachtenswert ist in diesen Bildern die Verteilung der Modelljahr 1971-Fahrzeuge. Diese Modelle wiesen gegenüber 1970 zwar kein neues Emissionskontrollsystem auf, hatten jedoch - da es sich fast durchweg um Neufahrzeuge handelte - weniger als 500 Meilen akkumuliert. Nach New Jersey-Gesetz unterliegen derartige Fahrzeuge noch der Händlerinspektion,

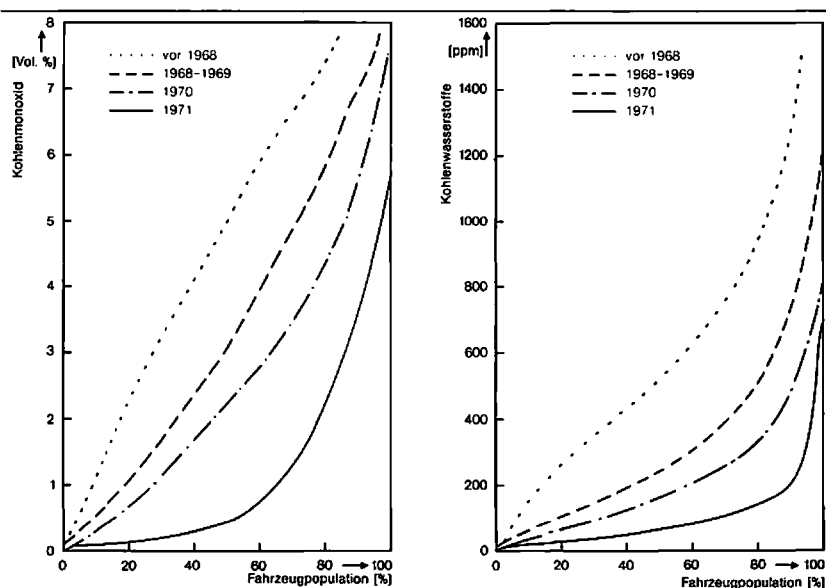


Bild II.8-24: Verteilung der Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen im Leerlauf bei Fahrzeugen verschiedener Modelljahre, nach [462].

und eventuell nötige korrigierende Maßnahmen lägen noch in der Verantwortung des Händlers {463}.

Aus den gezeigten Verteilungen kann man angestrebte Grenzwerte (in diesem Zusammenhang "cut-off"-Punkte genannt) ableiten, wobei die Fahrzeugklasseneinteilung sinngemäß nach Modelljahren erfolgt. Das Ergebnis dieser Grenzwetherleitung mit der dazugehörigen

Fahrzeug-Modelljahr	„Cut-off“-Wert		Individuell nicht bestanden [%]		Kombination CO und HC nicht bestanden [%]	Total nicht bestanden [%]
	CO [Vol. %]	HC [ppm]	CO	HC		
Vor 1968	6	1000	27	8	15	50
1968–1969	4	500	30	2	18	50
1970	3	300	15	1	15	30
1971	3	300	16	1	6	22

**Bild II.8–25:** Ermittlung der „Baseline“-Emissionscharakteristik im Leerlauf an 2500 Fahrzeugen und „Nicht-Bestanden-Anteile“ [%] bei Zugrundelegung der „Cut-off“-Werte für Höchst-Emittenten, nach [464].

Fahrzeug-Gruppe und Schadstoffbewertung		New Jersey Test-Labor			Werkstatt		
		Reduktion [%]		Kosten (1971 US-\$)	Reduktion [%]		Kosten (1971 US-\$)
		CO	HC		CO	HC	
Vor 1968-Fahrzeuge							
	CO allein	64	32	7.98	67	39	21.04
	HC allein	7	81	18.10	5	72	17.68
	HC u. CO	59	72	17.17	56	61	25.66
	Total	51	65	15.35	58	51	22.73
1968–1969-Fahrzeuge							
	Total	75	37	7.84	60	43	23.37
1970-Fahrzeuge							
	Total	79	34	9.20	70	51	15.51
Insgesamt		56	59	13.77	60	49	22.40

**Bild II.8–26:** Gegenüberstellung der vom staatlichen New Jersey Testlabor projizierten Emissionsverbesserungen durch den Leerlauftest und Reparaturmaßnahmen zu den tatsächlich im Werkstattbetrieb erreichten Werten, nach [465].

kappen, Verteilerfinger, PCV-Ventile etc. häufiger als bei Fehlerbehebungen im Testlabor erneuert wurden [466].

Die Besitzer von Fahrzeugen, die die in Bild II.8–25 genannten "cut-off"-Werte überschritten, wurden gebeten, mit ihren Fahrzeugen am New Jersey "REPAIR"-Programm ("Reduction of Exhaust Pollutants through Automotive Inspection Requirements") teilzunehmen. Von den 400 freiwillig zur Verfügung gestellten Wagen wurden 200 jeweils vor und nach der Einstellung/Reparatur einem Leerlauf-Konzentrations- und einem ACID-Massenemissionstest unterzogen. Vor Einstellung/Reparatur führte man außerdem noch Heißtests (6. und 7. Zyklus des Kalifornientests), Clayton Key-Mode- und Leerlauftests bei erhöhter Drehzahl (2.500 U/min) durch, um die Möglichkeiten einer einfachen Leerlaufprüfung gegenüber Konstantgeschwindigkeits- oder Fahrprogrammtests abzuschätzen. Bei diesem Vergleich möglicher Kurztests zeigte sich, daß der Leerlauftest am wirtschaftlichsten war. Hierbei wurden nicht nur geringstmögliche Kosten, sondern auch geringstmöglicher Zeitbedarf im Verhältnis zum erreichten Nutzen als Beurteilungskriterium herangezogen [455, 463, 467].

Der Leerlauftest ergab im Vergleich mit den beiden übrigen aufwendigeren Tests ebenfalls eine annehmbare Sicherheit, Fahrzeuge mit hohem Luftverunreinigungspotential zu erkennen und zu reparieren ("80 % of all problems were covered" [455]). Da

rechnerischen Überschreitungsquote ist in Bild II.8–25 gezeigt. In Bild II.8–26 sind die im praktischen Werkstattbetrieb tatsächlich aufgetretenen Emissions-Verminderungen und die daraus entstehenden Einstell-/Reparaturkosten den Erfahrungen und Annahmen des staatlichen Testlabors gegenübergestellt. Die Differenz in den Kostangaben (auf der Basis von 1971) erklärt sich teilweise aus dem in der Praxis angewendeten Stundensatz (8 bis 13 US-\$), der höher als vom Testlabor vorgegeben (8 US-\$) lag. Hinzu kommt, daß in den Werkstätten Teile wie Unterbrecherkontakte, Kondensatoren, Verteiler-

außerdem durch den Kurztest keine Korrelation zu irgendeinem gesetzlichen Zulassungstest gesucht wurde, erschien dem Staat New Jersey kein höherer Aufwand als der einfache Leerlauftest (ohne Gang, Drehzahl und Konditionierung "wie angeliefert") zusätzlich zum übrigen Routinetestprogramm gerechtfertigt. Der Leerlauf-Emissions-test wird anlässlich der jährlichen Fahrzeugüberprüfung auf Sicherheitspunkte durchgeführt. Hierbei wird er am Anfang der Sicherheitsprüfung in den Testablauf integriert, der aus den folgenden weiteren Schritten besteht:

1. Radlagerprüfung, Heckleuchten, Signalhorn, Scheibenwischer und andere äußerliche Sicherheitseinrichtungen
2. Scheinwerfereinstellung
3. Bremsen- und Unwuchtprüfung aller 4 Räder
4. Anbringung der Sicherheits-Prüfplakette an der Windschutzscheibe

Der Test wird hierbei noch um eine visuelle Beurteilung der Auspuff-Rauchentwicklung bei einem "Gasstoß" aus dem Leerlauf heraus ergänzt. Sichtbare Auspuffrauchentwicklung wird beanstandet.

Fahrzeuge	Anzahl	Leerlauf-Test						ACID-Test					
		CO [Vol. %]			HC [ppm]			HC [ppm]			CO [Vol. %]		
		V	N	Δ	V	N	Δ	V	N	Δ	V	N	Δ
Vor-1968-Fahrzeuge	52 (CO)	8.5	3.0	5.5	540	336	204	120	74	46	8.0	5.5	2.5
	16 (HC)	3.9	3.8	0.1	2180	450	1730	79	70	9	18.5	6.6	11.9
	65 (CO u. HC)	8.7	3.8	4.9	1524	567	957	136	89	47	15.2	7.3	7.9
	Σ: 133	8.0	3.5	4.6	1218	463	755	123	81	42	12.8	6.5	6.3
1968 bis 1969 Fahrzeuge	Σ: 48	7.0	2.5	4.5	567	275	292	99	52	47	7.5	5.4	2.1
1970-Fzge.	Σ: 11	6.4	1.3	5.1	299	154	145	82	31	51	4.4	2.9	1.5
Insgesamt	192	7.7	3.1	4.6	1003	398	605	115	71	44	11.0	6.0	5.0

V = Vor Einstellung (Anlieferungszustand); N = nach Einstellung (oder nach Reparatur); Δ = erzielte Verbesserung

**Bild II.8-27:** Vergleich der durch den New Jersey-Leerlauf-Test und die durch diesen Test initiierten Einstell- oder Reparaturmaßnahmen erzielten Emissionsverbesserungen (Konzentrationsbasis) mit den auf Massenbasis bezogenen Schadstoffabsenkungen im New Jersey-ACID-Test, nach [468].

Die erzielbaren Verbesserungen des Emissionsverhaltens durch eine solche Leerlaufinspektion mit nachfolgender Einstellung/Reparatur sind in Bild II.8-27 dargestellt. Es zeigt sich eine annähernde Konstanz der möglichen CO-Massenemissionsverbesserung über die verschiedenen Modelljahre trotz fortschreitender Emissionskontrolltechnik.

Da durch Leerlaufeinstellungen die Emissionen nicht nur im Leerlauf, sondern auch bei Verzögerungen und Konstantfahrten mit 30 mph verbessert werden, profitiert der innerstädtische Verkehr am meisten von diesen Maßnahmen. Man schätzte die jährliche Verringerung der Emissionen in New Jersey durch den Leerlauftest mit nachfolgender Einstellung/Reparatur auf etwa 920.000 t CO und ungefähr 101.000 t HC, was einer 20 und 32%igen Verbesserung entsprach [469]. Dies war ein bemerkenswerter Erfolg, wenn man bedenkt, daß die Leerlauf-Grenzwerte aufgrund von Kostenüberlegungen sehr hoch angesetzt werden mußten.

Als Fazit zeigte das "REPAIR-Project" außer Verbesserungen der Leerlaufemissionskonzentrationswerte von etwa 60 % (für HC und CO) sowie Verbesserung der ACID-Test-Massenemissionswerte von 38 % für CO und 45 % für HC, daß ein einfacher Leerlauf-test von 15 bis 20 s Dauer in das bestehende Programm der jährlichen Fahrzeuginspektionen unter minimalem Kostenaufwand (ein SUN-Gerät vom Typ EET-910 zur HC- und CO-Messung kostete 1971 etwa 2.100 US-\$) integriert werden konnte {470}.

#### 8.2.2.3 Folgen des "New Jersey REPAIR-Project"

Im Juli 1972 begann der Staat New Jersey routinemäßig Untersuchungen von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen auf deren Emissionsverhalten im Leerlauf anlässlich der periodischen Fahrzeugsicherheitskontrollen. Das angewendete Testverfahren sowie die entsprechenden Grenzwerte wurden vom DEP ("Department of Environmental Protection") festgelegt, das auch für die Ausrüstung der vorhandenen 38 staatlichen Teststationen mit den notwendigen Instrumenten sorgte. Hierzu mußten 125 NDIR-Analysatoren (SUN) angeschafft werden, die Kapazität der Teststationen lag zwischen 1 und 4 Fahrzeugbahnen je Station, insgesamt waren 78 Bahnen zu bestücken. Dem DEP oblag weiterhin die Auswertung des Leerlauf-Testprogramms bezüglich eventueller Auswirkungen auf die Luftqualität {455}.

Die Durchführung des Programms wurde ab 1972 der DMV ("Division of Motor Vehicles") übertragen, das Programm selbst wurde in das bereits seit 1938 auf der Sicherheitsseite praktizierte routinemäßige Fahrzeuginspektionssystem der DMV integriert {455}.

In den Jahren 1972 und 1973 mußten die Fahrzeuge anlässlich ihrer jährlichen Überprüfung zwar dem Leerlauf-test unterzogen werden, die Erfüllung der gesetzlichen Grenzwerte war jedoch noch freiwillig. Man wollte zunächst den Fahrzeugbesitzern und den Werkstätten Gelegenheit geben, sich mit dem Problem des Emissionsverhaltens und nötiger Reparaturen am Emissionskontrollsystem vertraut zu machen. Ab 1. Februar 1974 mußte nicht nur der Test durchgeführt werden, sondern es waren auch die festgelegten Grenzwerte zu erfüllen (von allen Pkw mit Otto-Motoren und mit einer Masse von < 6000 lbs, d. h. 2722 kg) {455}.

Im November 1975 begann die DMV mit einem Programm, durch das private Werkstätten zur Abnahme der Wiederholungsprüfung nach Instandsetzung des Fahrzeugs autorisiert wurden. Grund für diese Maßnahme waren die langen Wartezeiten für die Fahrzeugbesitzer bei den staatlichen Teststationen (bei denen jedoch auch weiterhin alle Erstprüfungen zu erfolgen hatten). Die Durchführung der Wiederholungsprüfung konnte sowohl bei den durch die DMV autorisierten wie auch bei den staatlichen Teststationen erfolgen, und die Fahrzeugbesitzer nahmen diese Möglichkeiten zu jeweils etwa 50 % in Anspruch {455}.

Insgesamt autorisierte die DMV 4.700 private Werkstätten, die alle mit entsprechenden Meßgeräten auszurüsten waren. Als größtes Problem zeigte sich bald die Sicherstellung eines vergleichbaren Meßniveaus zwischen allen Stationen, und die DMV mußte daher allein 45 Personen mit der Aufgabe eines kontinuierlichen Teststationen-

Vergleichs ("Qualitätskontrolle") einsetzen. Diese Prüfer arbeiten mit Eichgasen und nach Eichvorschriften, die das DEP zur Verfügung stellte {455}.

Anläßlich der jährlichen Registrierung/Inspektion zahlt der Fahrzeugbesitzer eine Gebühr, die von der Fahrzeugmasse abhängt und z. B. (1978) zwischen 16,50 US-\$ und 46,50 US-\$ betrug. Von dieser Summe wurden 2,50 US-\$ für die DMV-Arbeiten abgezweigt, deren Budget (bei etwa 4,5 Mio Prüfungen pro Jahr) 12 Mio US-\$ beträgt. Der verbleibende Betrag der Prüfgebühr ging an den Staat New Jersey {455}.

#### 8.2.2.4 Richtwerte für Nachprüfungen

Es war beabsichtigt, allen Prüfstellen genaue Anweisungen über die als notwendig erachteten einheitlichen Kalibrierungsarbeiten, Testabläufe und Instrumentierung zur Verfügung zu stellen. Dieses Informationsprogramm sollte außer den obengenannten An-

Fahrzeug-Modelljahr	Normalerweise erreichte Emissionswerte im Leerlauf			
	CO [Vol.%]	Toleranz	HC [ppm]	Toleranz
Vor-1968-Fahrzeuge (General Motors)	3.0	± 2.0	700	± 200
Vor-1968-Fahrzeuge (Nicht General Motors)	3.0	± 2.0	500	± 200
1968-1969-Fahrzeuge Alle	3.0	± 2.0	300	± 100
1970-1974-Fahrzeuge Alle	1.5	± 1.0	200	± 100
1975-1979-Fahrzeuge mit Katalysator	0.5	± 0.5	50	± 25
1975-1979-Fahrzeuge ohne Katalysator	1.0	± 0.5	100	± 50

**Bild II.8-28:** Emissionswerte, die im Leerlauf test als normalerweise erreichbar angesehen werden und als Richtlinie für die Service-Stationen vom Staat New Jersey festgelegt wurden, nach [471].

leitungen auch die in Bild II.8-28 wiedergegebenen Richtwerte für Leerlauf-HC- und CO-Emissionen im Fall von normal funktionierenden Emissionskontrollenrichtungen und fehlerfreien Motoren enthalten. Da die Fahrzeuge im Feld also in ihrer Mehrzahl, spätestens nach Einstellung/Reparatur, diese Emissionswerte aufweisen dürften, ist die Zusammenstellung in Bild

II.8-28 zur Abschätzung der Umweltbelastung durch die Fahrzeuge der verschiedenen Modelljahre von Bedeutung.

#### 8.2.2.5 Rauchbegrenzungen

Auf dem Gebiet der Begrenzung des Auspuffrauchs existieren in New Jersey zwei Regelungen. Bezüglich der Rauchemission bei Fahrzeugen mit Otto-Motor lautet die Vorschrift, daß kein Fahrzeug sichtbaren Rauch entwickeln darf. Den 3 in New Jersey existierenden Polizeiarten (state, municipal, local) obliegt die entsprechende Kontrolle, die praktisch jedoch wegen sonstiger Aufgaben von der Polizei kaum ausgeübt wird. Hinsichtlich der Rauchemission bei Fahrzeugen mit Diesel-Motoren wurde ursprünglich vorgeschrieben, daß kein solches Fahrzeug übermäßigen Rauch für mehr als 3 aufeinanderfolgende Sekunden emittieren dürfe. Nach Einspruch der Nutzfahrzeug-Hersteller (die eine solche Vorschrift nach eigenen Angaben nur durch Nachrüstaktionen hätte einhalten können) wurde die entsprechende Regelung jedoch gestrichen. Heute gibt es die allgemein gültige Vorschrift, daß jedes Fahrzeug, das auf öffentlichen Straßen in New Jersey betrieben wird, ein defektfreies Auspuffsystem haben muß, das jede übermäßige Rauch- und Geräuschentwicklung verhindert. Für Fahrzeuge mit Diesel-Motoren gelten spezielle Verbote und Vorschriften, die in {472} festgelegt sind.

#### 8.2.2.6 Aussichten

Es bestehen in New Jersey derzeit keine Absichten, den einfachen Leerlauftest kurzfristig durch einen Konstantgeschwindigkeits- oder Fahrzyklus-Kurztest abzulösen. Aufgrund der heutigen praktischen Gegebenheiten ist eine solche Ablösung auch gar nicht möglich, da die New Jersey-Teststationen vom Staat New Jersey finanziert werden und für Programmerweiterungen, die voraussichtlich wegen konstant zu haltenden Durchsatzes von Fahrzeugen eine Erhöhung der Stationszahl zur Folge hätten, kein Geld vorhanden ist {455}. Änderungen in dieser Richtung könnten nur durch finanzielle Beteiligung der EPA ermöglicht werden.

#### 8.3 Erster Versuch für ein Kurztest-Gesetz ("Cutpoint"-Verfahren) mit "Abgas-Garantieverpflichtung"

Der "Clean Air Act" bildet die Grundlage zur Erforschung von Kurztest-Verfahren zwecks Überwachung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen {473}. Dieses Gesetz besagt, daß der Administrator der EPA derartige Kurztests vorschreiben soll, sobald:

- es Verfahren gibt, die eine Überprüfung der im Verkehr befindlichen Fahrzeuge auf Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte über 5 Jahre oder 50.000 Meilen ermöglichen,
- diese Verfahren gute Ingenieurpraxis darstellen und
- sie vernünftig mit dem Zertifizierungs-Abgastestverfahren der FTP korrelierbar sind.

Die Aufgabe, praktikable und gut zur FTP korrelierbare Tests zu finden, war sehr schwierig. Die EPA führte selbst umfangreiche Arbeiten durch, die z. B. in {474, 475, 476} beschrieben werden und aus folgenden Programmen bestanden:

- a) "Experimental Catalyst"-Flotte  
Diese Flotte bestand aus etwa 50 Fahrzeugen des Modelljahres 1973, die speziell für diese Untersuchung mit Katalysatoren und Lufteinblasung ausgerüstet waren.
- b) "Modelljahr 1974"-Flotte  
Etwa 150 Wagen des Modelljahres 1974 aus Privatbesitz wurden getestet. Sie repräsentierten die 1975er Nicht-Katalysator-Technologie.
- c) "Defects-Test"-Flotte  
Diese Flotte bestand aus 5 Katalysatorfahrzeugen, die zunächst nach Herstellerangabe eingestellt und getestet wurden. Danach erfolgte die Darstellung verschiedener Fehlfunktionen mit abermaligem Abgastest.
- d) "300-Wagen"-Flotte  
Jeweils 100 Wagen des Modelljahres 1975 aus Privatbesitz wurden in den Städten Chicago, Houston und Phoenix untersucht.
- e) "State/EPA Pilot"-Programm  
Bei dieser Untersuchung wurden etwa 2.400 Fahrzeuge der Modelljahre 1975/76 in Portland und Oregon sowohl der FTP wie auch den nachfolgend genannten Kurztests unterzogen.

Aufgrund der Ergebnisse mit den Programmen a) bis d) schlug die EPA vor, die folgenden fünf Tests als offizielle (d.h. den Forderungen von Abschnitt 207 (b) des "Clean Air Act" entsprechenden) Kurztests zu deklarieren {476}:

1. "Two-Speed Idle Test"
2. "Federal 3-mode-Test"
3. "Clayton Key-mode Test"
4. "Federal Short Cycle-Test"
5. "New York/New Jersey Composite Cycle-Test"

Gemäß den im "Clean Air Act", Abschnitt 207 (b), bezüglich Abgasgarantie gemachten Ausführungen treten behördliche Aktionen ein, wenn ein Fahrzeug innerhalb von 50.000 Meilen oder 5 Jahren trotz ordnungsgemäßer Wartung und vorschriftsmäßigen Betriebs die gesetzlichen Abgasgrenzwerte nicht mehr erfüllt (gemäß den "Clean Air Act Amendments" von 1977 trägt der Automobilhersteller die volle Verantwortung für einen solchen Fall). Die obengenannten (von EPA als Kurztests deklarierten) Verfahren sollten hierbei als Prüfinstrument dienen, ob dieser Zustand vorliegt oder nicht (ein kompletter Zertifikationstest scheidet aus praktischen Gründen aus).

Da für diese in Kap. 8.1 näher behandelten Kurztests keine Emissions-Grenzwerte existierten, sollten eigene Standards, sogenannte "cutpoints" vom Automobilhersteller, von Einzelstaaten oder von der EPA festgelegt werden.

Der Automobilhersteller hätte diese "cutpoints" so hoch wie möglich ansetzen müssen, um Garantieklagen zu vermeiden, wobei jedoch sicherzustellen gewesen wäre, daß bei Erreichen des "cutpoints" die FTP-Standards noch bestanden wurden. Die "cutpoints" sollten - falls von EPA ermittelt - jährlich festgelegt werden und die Grundlage der Überwachungsprogramme der einzelnen Bundesstaaten bilden.

Da sich die Vorschrift des "Clean Air Act", zur FTP korrelierbare Kurztests zu finden {473}, im klassisch-statistischen Sinn nicht realisieren ließ {477}, wählte die EPA unter den drei möglichen Verfahren zur "cutpoint"-Ermittlung:

- Regressions-Analyse
- Ranking-Analyse
- Zufallstabelle

das Verfahren mittels Zufallstabelle ("contingency table") aus. Hierbei kommt es nicht wie bei der Regressionsanalyse darauf an, den Zusammenhang von abhängiger und unabhängiger Variablen in einer mathematischen Gleichung zu erfassen, sondern eine oder mehrere unabhängige Variablen derart zu finden, daß man mit ihnen die verschiedenen Gruppen der abhängigen Variablen unterscheiden kann. Eine vorhersagbare Relation zwischen abhängiger und unabhängiger Variablen ist bei diesen Verfahren nicht wichtig {478}. Das "Zufallstabelle-Verfahren" für das hier relevante Kurztest-Beispiel basiert auf der Annahme, daß "cutpoints" für die unabhängigen Variablen (HC, CO, NO<sub>x</sub> im Kurztest) derart gefunden werden können, daß man mit ihnen die möglichen Gruppen der abhängigen Variablen (hier 2 Gruppen: FTP bestanden, FTP nicht bestanden) unterscheiden kann.

Für diesen Fall einer beabsichtigten Vorhersage des FTP-Ergebnisses aufgrund eines Kurztest-Resultates, ist eine Zufallstabelle in Bild II.8-29 wiedergegeben. Wie in

		Abhängige Variable FTP („Federal Test Procedure“)	
		bestanden	nicht bestanden
Unabhängige Variable Kurztest	bestanden	Vorhersage durch Kurztestergebnis trifft zu: Fzg. würde FTP tatsächlich bestehen	„error of omission“: Bestandener Kurztest täuscht Bestehen der FTP vor („positiver Fehler“)
	nicht bestanden	„error of commission“: Nicht bestandener Kurztest täuscht Nicht-Bestehen der FTP vor („negativer Fehler“)	Vorhersage durch Kurztestergebnis trifft zu: Fzg. würde FTP tatsächlich nicht bestehen

diesem Bild gezeigt ist, kann das Kurztestergebnis mit einem sogenannten "positiven" Fehler ("error of omission") oder einem sogenannten "negativen" Fehler ("error of commission") behaftet sein. Bei einem "positiven" Fehler des Kurztestergebnisses wird ein Bestehen der FTP vorgetäuscht, das Fahrzeug hätte aber einen kompletten FTP-Test in Wirklichkeit nicht bestanden. Bei einem "negativen" Fehler täuscht das Kurztestergebnis ein Nicht-Bestehen der FTP vor, obwohl das Fahrzeug einen kompletten Zertifikations-

**Bild II.8-29:** „Contingency-Table“ für Rückschlüsse vom Ergebnis eines Kurztests auf das voraussichtliche Verhalten im Gesamttest, nach [477].

ler würde dem Automobilhersteller also nicht unangenehm sein, er wäre jedoch von Nachteil für die Luftqualität. Ein "negativer" Fehler bedeutet dagegen für

den Automobilhersteller ungerechtfertigte Garantiekosten. Durch entsprechende Festlegung der "cutpoints" kann der "negative" Fehler nahezu eliminiert werden, wobei jedoch die Möglichkeit "positiver" Fehler ansteigt.

Im Falle einer Festlegung der "cutpoints" durch die Behörde, wollte die EPA folgendermaßen vorgehen: Jährlich sollten Fahrzeuge des letzten Modelljahres aus Privat-hand und/oder aus der Serienproduktion nach 5 Kurztests und der FTP getestet werden. Die Daten sollten in den ersten neun Monaten des Modelljahres gesammelt werden, wobei die Fahrzeuge in Gruppen (charakteristische Motorgröße, Fahrzeuggröße, Abgasreinigungsanlage) zusammengefaßt werden sollten. Für jede Gruppe hätte die EPA dann "cutpoints" berechnet. Der Einfluß von Umweltparametern etc. auf den realen Testablauf sollte im einleitend genannten "State/EPA Pilot"-Programm ermittelt und den Einzelstaaten mit Bekanntgabe dieser "cutpoints" zugeleitet werden. In der "Werkstatt-) Praxis sollten sowohl für die Durchführung der Konstantphasen- wie auch für die Übergangsphasen-Kurztests folgende allgemeine Bestimmungen gelten:

- die Fahrzeuge sollten in der Einstellung getestet werden, in der sie am Prüfort erschienen.
- es sollte keine Vorbereitung oder Vorkonditionierung irgendeiner Art stattfinden.
- die Wagen sollten unter den am Prüfort herrschenden Umgebungsbedingungen (Druck, Temperatur, Feuchte nicht geregelt) getestet werden.

Einzelstaaten sollte es freigestellt sein, die Bundes-Vorschläge zu übernehmen, oder selbst schärfere/schwächere "cutpoints" festzulegen. Im Falle schwächerer eigener Grenzwerte wäre die Zahl der Kunden, die unter die Garantieforderungen des "Clean Air Act" fallen, gesunken, und man hätte die Möglichkeiten zur Luftqualitätsverbesserung nicht voll ausgenutzt. Im Fall schärferer staateneigener Grenzwerte hätte der Kunde die Instandsetzung seines Fahrzeuges bei Nichtbestehen dieser Grenzwerte selbst bezahlen müssen. Wenn allerdings die Bundes-"cutpoints" überschritten worden



Fall I <sup>1)</sup>			Fall II <sup>2)</sup>		
Vor Anwendung des Kurztestprogramms gab es in den Einzelstaaten noch kein Überprüfungsprogramm			Vor Anwendung des Kurztestprogramms gab es in den Einzelstaaten bereits ein Überprüfungsprogramm		
HC	CO	NO <sub>x</sub>	HC	CO	NO <sub>x</sub>
34,6 bis 21,1	42,8 bis 24,6	2,0 bis 0,33	7,6 bis 6,4	8,7 bis 7,8	0,22 bis 0,00
1) Bei 5% Fehler für den „error of commission“ und kombiniertem Einsatz von Kurztest und Überprüfungsprogramm					
2) Bei Annahme, daß 1/3 der im Überprüfungsprogramm getesteten Fzge. nicht bestanden haben und 5% Fehler für den „error of commission“					

**Bild II.8-30:** Prozentuale erwartete Reduktionsraten für die Gesamtemission von Fahrzeugen über 5 Jahre oder 50 000 Meilen, bei Einsatz von Kurztests und Überprüfungsprogramm, nach [479].

wären, so hätte der Automobilhersteller die kostenlose Instandsetzung übernehmen müssen.

Die EPA hatte sich von diesem Programm Emissionsverbesserungen in der in Bild II.8-30 dargestellten Größenordnung erhofft. Der Gesetzesvorschlag mit dem gesamten Kurztest/ "cutpoint"-Programm wurde jedoch plötzlich und ohne Kommentar zurückgezogen. Die Gründe für dieses Vorgehen können nur vermutet werden, es ist aber möglich, daß die EPA Gegenargumente zu diesem Vorschlag nicht entkräften konnte.

#### 8.4 Gesetz über Kurztests und "Abgasgarantie"

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Bemühungen des Gesetzgebers, praktikable, aussagefähige Kurztestverfahren und damit die Grundlage für einzelstaatliche und lokale I/M-Programme zu schaffen, an die auch Garantieverpflichtungen für den Automobilhersteller geknüpft werden konnten, finden ihren Abschluß mit der Verabschiedung der Vorschriften über Kurztests und Abgasgarantie vom 22.05.1980, die ab 23.06.1980 Gesetzeskraft erlangten [480]. Im Gegensatz zum ursprünglichen Vorschlag vom 22.05.1977, der 5 verschiedene Kurztests mit aufwendiger fahrzeugabhängiger Grenzwert ("cutpoint")-Ermittlung vorgesehen hatte, beinhaltet das Gesetz vom 22.05.1980 nur noch drei Kurztests und Einheitsgrenzwerte für alle Fahrzeuge. Bild II.8-31 faßt die Details dieser Prüfungen und ihre Konsequenzen für den Automobilhersteller zusammen. Mit den Ergebnissen von etwa 6.000 Tests wird untermauert, daß die drei jetzt vorgesehenen Kurztests zum Auffinden von Fahrzeugen mit hohen Emissionen geeignet sind. Auch hätten 2200 im praktischen Betrieb von Teststationen

	Testart	Testbeschreibung	Grenzwerte		Bemerkungen
			HC [ppm]	CO [Vol. %]	
1.	Idle-Test	Option: Motor kann kurz vorkonditioniert werden, und zwar bei: 2500 ± 300 U/min für max. 30 s	220	1.2	<b>Zum Kurztest:</b> Einheitsgrenzwerte für alle Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren. Fahrzeuge werden getestet „wie angeliefert“; Motor betriebswarm; alle Zusatzgeräte ausgeschaltet. Ablesung der Konzentrationsmeßwerte erfolgt sobald Anzeigewert stabil ist, spätestens jedoch nach 30 s. Wenn Grenzwert schon nach 1. Leerlauf-Messung (bei Tests 2 und 3) unterschritten ist, brauchen erhöhte Drehzahl (bei Test 2) oder Lastpunkt (bei Test 3) nicht mehr gemessen zu werden (Entscheidung bleibt der Jurisdiktion überlassen, die für das entsprechende I/M-Programm verantwortlich ist). <b>Zur Abgas-Garantie:</b> • Fahrzeugalter bis 3 Monate oder 4000 Meilen: Automobilhersteller muß Emissionskontrollsystem kostenlos instandsetzen, wenn Fahrzeug Kurztest nicht bestanden hat • Fahrzeugalter bis 24 Monate oder 24 000 Meilen: Automobilhersteller muß Emissionskontrollsystem kostenlos instandsetzen, wenn Fahrzeugbesitzer wegen des Nicht-Bestehens des Kurztests eine Geldstrafe oder sonstige Sanktion auferlegt bekam • Fahrzeugalter bis 5 Jahre oder 50 000 Meilen: Automobilhersteller muß Fahrzeugteile nur dann kostenlos instandsetzen, wenn diese Teile ausschließlich zu Emissionskontrollzwecken eingebaut und vor Modelljahr 1988 noch nicht im allgemeinen Gebrauch waren (und wenn der Fahrzeugbesitzer wegen des Nicht-Bestehens des Kurztests eine Geldstrafe oder sonstige Sanktion auferlegt bekam). Allgemeine Voraussetzung für „Abgas-Garantie“: Fahrzeugbesitzer muß Fahrzeug nach den schriftlichen Herstelleranweisungen betrieben und gewartet haben.
2.	Two-Speed Idle-Test	• Motor bei normaler Leerlaufdrehzahl betreiben und Abgaskonzentrationen notieren • Motor bei 2500 ± 300 U/min ohne Last betreiben und Abgaskonzentrationen notieren • Messung bei normaler Leerlaufdrehzahl wiederholen	200	1.0	
3.	Loaded Test	Option: Motor kann kurz vorkonditioniert werden, und zwar bei: 50 mph für 30 s (wenn Motor dabei nicht überhitzt). • Motor bei normaler Leerlaufdrehzahl in Getriebestufe "D" (autom. Getriebe) oder im 3. Gang (mech. Getriebe), betreiben und Abgaskonzentrationen notieren • Motor bei 30 ± 1 mph und einer Belastung von 9 ± 1 HP betreiben und Abgaskonzentrationen notieren • Messung bei normaler Leerlaufdrehzahl wiederholen	220	1.2	

**Bild II.8-31:** Die von der EPA sanktionierten „Kurztests“ für einzelstaatliche oder lokale I/M- („Inspection and Maintenance“) Programme an im Verkehr befindlichen Fahrzeugen und die sich für den Automobilhersteller ergebenden Konsequenzen im Rahmen der mit diesen Kurztests gekoppelten „Abgasgarantie“, nach [480].

durchgeführte derartige Kurztestprüfungen Ergebnisse gebracht, die mit den Resultaten der FTP vergleichbar waren {481}.

Die EPA interpretiert die "Clean Air Act"-Auflage, daß der Kurztest "reasonable capable of being correlated", d. h. angemessen korrelierbar, zur FTP sein soll {482} derart, daß mit dem oder den Kurztests mit akzeptabler Genauigkeit Fahrzeuge entdeckt werden können, die dem Gesetz nicht entsprechen {482}. Der Kongreß kann keine "perfekte Korrelation", die derzeit (oder eventuell überhaupt) nicht erreichbar ist, gemeint haben, da sonst sein Programm zur Überwachung im Verkehr befindlicher Fahrzeuge, das er möglichst bald realisiert sehen wollte, nicht möglich gewesen wäre.

Statistisch betrachtet setzt die von der EPA bei den Kurztest-Vorschriften angewendete Korrelations-Methodologie die Fehlerwahrscheinlichkeit von negativ ausgegangenen Kurztests ("error of commission" = "negativer Fehler", wie schon in Kap. 8.3 erläutert) auf das gleiche Niveau an, wie wenn die volle FTP als Kurztest angewendet worden wäre. Ein "error of commission" liegt dann vor, wenn ein Fahrzeug trotz Versagens im Kurztest den "Volltest" nach der FTP bestanden hätte {482}.

Parallel zur Verabschiedung der obengenannten Kurztest-Vorschriften wurden (ab 21. Juli 1980) Abgasgarantiebestimmungen Gesetz {483}, die dem Automobilhersteller für Fahrzeuge ab Modelljahr 1981 auferlegen, Emissionskontrollsysteme oder Teile dieser Systeme, die zum Nichtbestehen eines von der EPA anerkannten Kurztests während 5 Jahren oder 50.000 Meilen Fahrzeuglebenszeit geführt haben, ohne Kosten für den Fahrzeugbesitzer zu reparieren, wenn der Fahrzeugbesitzer wegen des Nichtbestehens des Tests durch einzelstaatliche oder bundesgesetzliche Regelungen einer Geldstrafe oder sonstigen Sanktion unterworfen wurde. Innerhalb der ersten 4.000 Meilen oder 3 Monate gilt die kostenlose Instandsetzungspflicht in jedem Fall, unabhängig davon, ob der Fahrzeugbesitzer wegen des Nichtbestehens eines Kurztests mit einer Geldstrafe oder Auflage belegt wurde oder nicht.

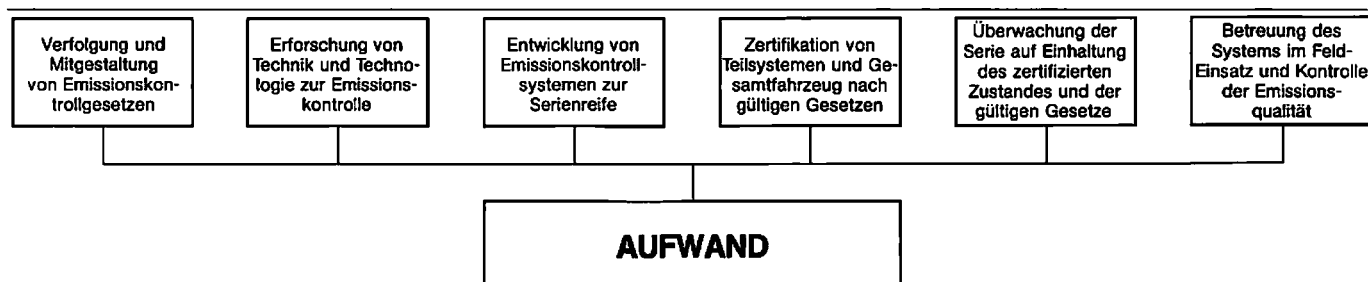
Voraussetzung einer kostenlosen Gewährleistung ist, daß der Fahrzeugbesitzer das Fahrzeug nach den schriftlichen Herstelleranweisungen betrieben und gewartet hat. Falls das Fahrzeug bereits mehr als 24 Monate in Betrieb ist oder mehr als 24.000 Meilen zurückgelegt hat, bezieht sich diese kostenlose Instandsetzungspflicht nur auf das Versagen solcher Teile, die ausschließlich zu Emissionskontrollzwecken im Fahrzeug eingebaut und vor 1968 noch nicht im allgemeinen Gebrauch waren, sowie auf solche Teile, die zur einwandfreien Funktion der obengenannten Emissionskontrollteile erforderlich sind (z. B. sind auch defekte Zündkerzen zu erneuern, wenn dadurch ein Katalysator zerstört wurde und erneuert werden muß) {484}.

## TEIL III

### Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifizierung, Produktion und Betrieb von PKW mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Kalifornischen- und 49-Staaten-Emissionskontrollgesetzgebung der USA

#### 1. Einleitung

Den in Teil II dieser Arbeit beschriebenen Bemühungen der Gesetzgeber zur Verringerung der Umweltbelastung durch Schadstoffemissionen aus Pkw und Pkw-Motoren, soll in Teil III der seitens der Automobilindustrie erbrachte Aufwand zum Erreichen des derart vorgegebenen Ziels gegenübergestellt werden. Hierbei liegt es aus entwicklungsgeschichtlichen Gesichtspunkten nahe, eine solche Darstellung hauptsächlich am Beispiel der für USA-Fahrzeuge untersuchten und eingesetzten Emissionskontrollsysteme zu erarbeiten.



**Bild III.1-1:** Zusammensetzung des vom Automobilhersteller erbrachten finanziellen, technischen und organisatorischen Aufwandes zur Verringerung der Umweltbelastung durch Schadstoffemissionen aus Pkw und Pkw-Motoren.

Der von einem Automobilhersteller zur Erfüllung der in Teil II, Kap. 1 bis 8 detailliert besprochenen gesetzlichen Auflagen zu leistende hohe finanzielle, technische und organisatorische Aufwand resultiert prinzipiell aus den in Bild III. 1-1 genannten Aktivitäten. Hierbei müssen alle Bemühungen zur Emissionskontrolle die in Bild III. 1-2 wiedergegebenen Bereiche mit gesetzlichen Auflagen berücksichtigen. Unter diesen Vorgaben ist ein Emissionskontrollsystem zu entwickeln, das die verschiedensten motor- und fahrzeugtechnischen Bereiche einbezieht. Der in hohem Maße interdisziplinäre Charakter eines solchen Systems kommt in Bild III. 1-3 zum Ausdruck. In Anlehnung an die in Bild III. 1-1 gezeigten Zusammenhänge sei nun das komplexe Gebiet der Emissionskontrolle an verschiedenen Ausführungsformen veranschaulicht, wobei



Bild III.1-2: Bereiche mit gesetzlichen Auflagen, die bei der Entwicklung eines Emissionskontrollsystems zu berücksichtigen sind.

die Meilensteine technischer Entwicklungen hauptsächlich am Beispiel der Mercedes-Benz Personenwagen und ihrer Emissionskontrollsysteme diskutiert werden sollen. Die Betrachtungen technischer Ausführungsformen werden hierbei um historische Rückblicke ergänzt, um aufzuzeigen, welcher Aufwand für oft kaum beachtete Eingriffe an Fahrzeugen und Motoren notwendig war, um diese zur Erfüllung der gesetzlichen Auflagen zu bringen, und welche Probleme es hierbei zu überwinden galt. Schließlich soll im Rahmen der Diskussionen um Zertifikations-, Serienkontroll- und Feldüberwachungsbemühungen Einblick in die enge Verknüpfung von Technik und Gesetzge-

bung auf dem Gebiet der Emissionskontrolle an Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren gegeben werden, die deren Entwicklung in den letzten 25 Jahren entscheidend geprägt hat.

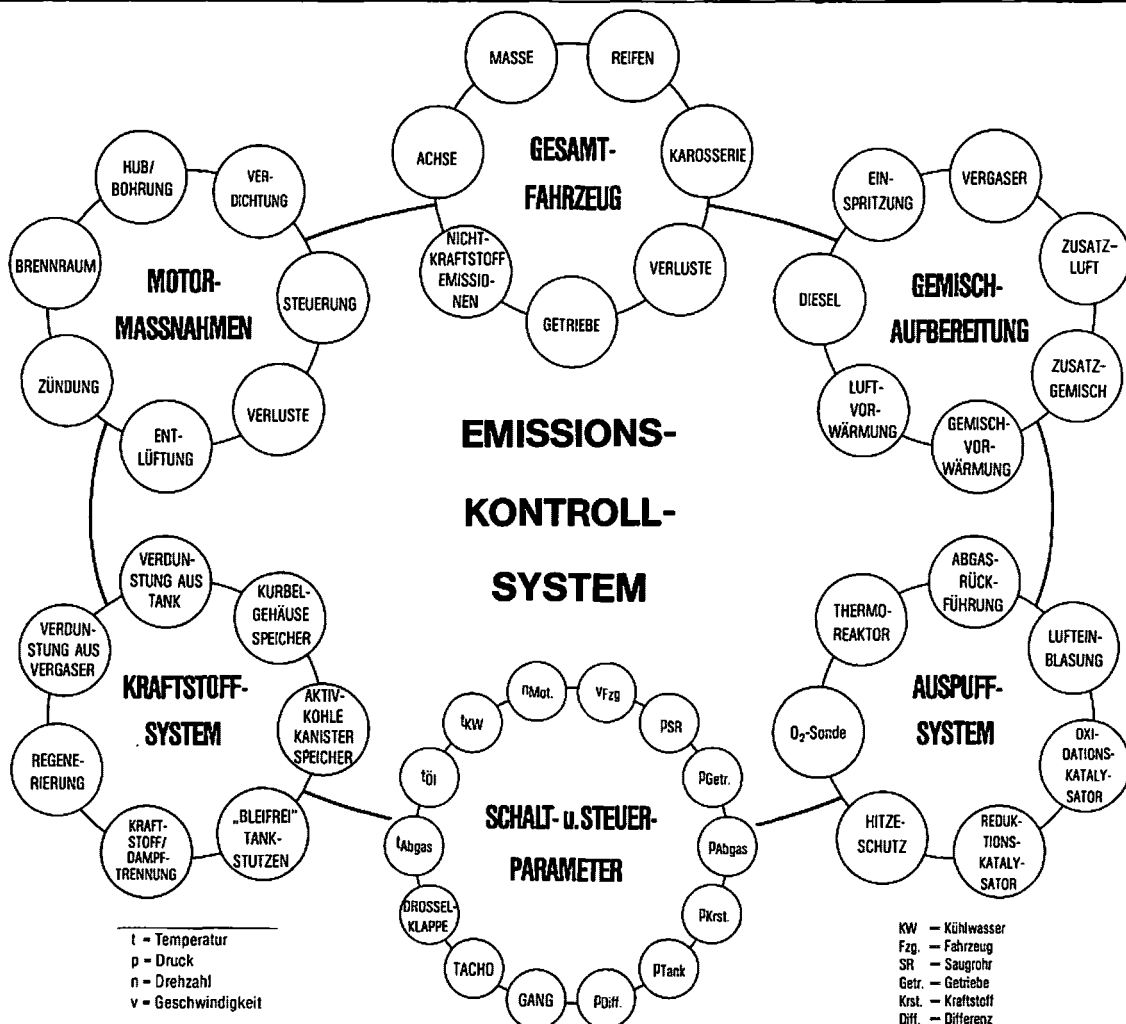
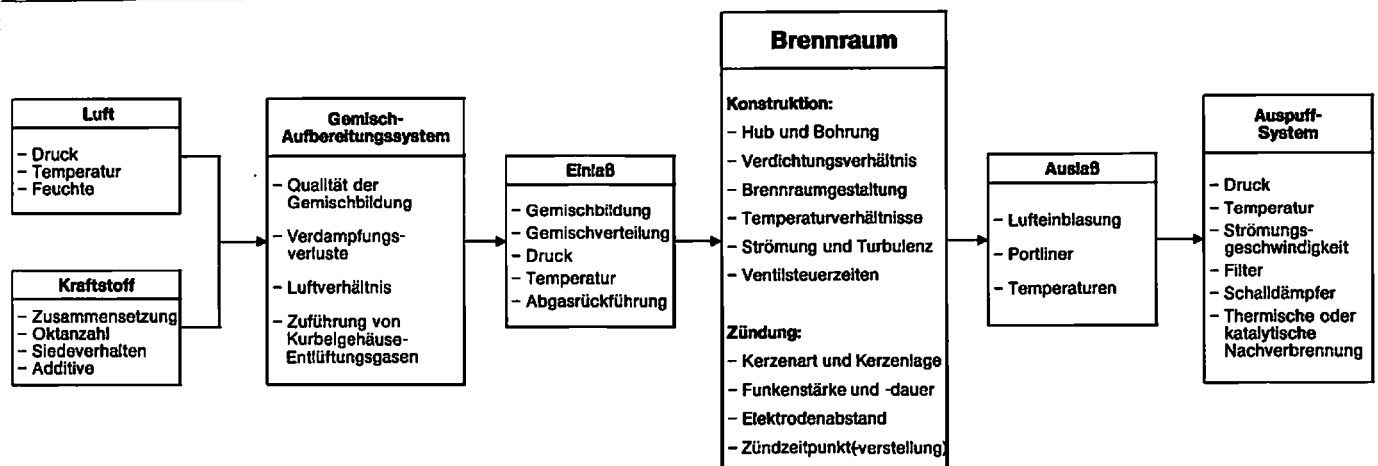


Bild III.1-3: Einbeziehung verschiedenster motor- und fahrzeugtechnischer Parameter in ein Emissions-Kontrollsystem

## 2. Technik und Funktion von Maßnahmen und Systemen zur Emissionskontrolle an Pkw mit Otto-Motoren

Das Emissionskontrollsystem eines Pkw setzt sich grundsätzlich aus Maßnahmen zur Entstehungsverhinderung und aus Eingriffen zur Verringerung von entstehenden oder bereits entstandenen Emissionen zusammen. Die Möglichkeiten zur Lösung dieser beiden Aufgaben lassen sich wiederum in die verschiedenen Bereiche: vor, in und nach dem Brennraum einteilen, wie es in Bild III. 2-1 am Beispiel eines Pkw mit Otto-Motor veranschaulicht ist.



**Bild III.2-1:** Möglichkeiten zur Beeinflussung der Abgaszusammensetzung und damit zur Emissionskontrolle bei PKW mit Otto-Motoren.

Die in diesem Bild dargestellten Ansatzpunkte zur Emissionskontrolle sollen nun für die Bereiche: Kurbelgehäuse-, Verdunstungs- und Auspuffemissionen im Detail betrachtet werden. Zur leichteren Einordnung des Einzelthemas in den Gesamtrahmen der Emissionskontrollbemühungen seitens der Automobilindustrie beginnen die einzelnen Kapitel jeweils mit einem kurzen historischen Rückblick.

### 2.1 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse

Zu den wenigen Studien, die Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase als Schadstoffquelle betrachteten, gehört eine 1952 veröffentlichte Arbeit von Payne und Sigworth, in der die Kurbelgehäuse-Gase als "noxious products" (schädliche Substanzen) charakterisiert wurden [485]. Die Autoren gaben an, daß die aus dem Kurbelgehäuse emittierten Kohlenwasserstoffkonzentrationen etwas weniger als dreimal so hoch waren, wie die im Auspuffgas vorhandenen Konzentrationswerte. Der Anstoß zur aufmerksamen Beachtung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse als potentielle Luftverunreinigungsquelle wurde jedoch erst in dem 1960 veröffentlichten SAE-Paper von Bennet, Murphy, Jackson und Randall gegeben [52]. Dieses Papier führte zu dem Ergebnis, daß die Kohlenwasserstoffkonzentration in Kurbelgehäuse-Gasen entgegen den Angaben in [485] bis zu 30-mal höher als die Kohlenwasserstoffkonzentration im Abgas sein kann. Unter Berücksichtigung der Durchflußvolumina können damit die Masse der aus dem Kurbelgehäuse emittierten und die Masse der im Auspuffgas vorhandenen Kohlenwasserstoffe in der gleichen Größenordnung liegen.

Die bemerkenswert hohe Einschätzung der Kohlenwasserstoffemission aus dem Kurbelgehäuse war in Kalifornien auch der Auslöser für Überlegungen, diese bis dahin weder bei Luftqualitätsberechnungen noch bei Grenzwertdiskussionen für Automobilabgase in Betracht gezogene Quelle bei der im Jahre 1960 vorgesehenen Überarbeitung der 1959er Emissionskontrollgesetzgebung ebenfalls zu berücksichtigen.

Im August 1959 wurden die Erkenntnisse aus { 52 } dem "Vehicle Combustion Products Committee" (VCP), der "Automobile Manufacturers of America" (AMA) zur Kenntnis gebracht. In weniger als 6 Monaten wurden die Daten gesichtet und durch Testwiederholungen bestätigt. Daraufhin empfahl das VCP den freiwilligen Einbau der ersten Systeme zur Kontrolle der Kurbelgehäusegase ab 1. Januar 1961 in allen in Kalifornien verkauften, aus einheimischer Produktion stammenden Pkw {486}.

Anlagen, die eine Rückführung der Kurbelgehäusegase vorsahen, gab es jedoch in der Praxis schon vor 1961, wenn sie auch in der davorliegenden Zeit nicht aus Gründen der Emissionskontrolle eingeführt worden waren. Schon vor dem 2. Weltkrieg befanden sich in den USA Systeme, die die Kurbelgehäusegase entweder vor den Vergaser durch den Luftfilterunterdruck oder nach dem Vergaser durch den Saugrohrunterdruck zurückführten, im Einsatz. Das erste System verschmutzte häufig den Vergaser, so daß das zweite Prinzip weitere Verbreitung fand (z. B. in Militärmotoren und bei Nutzfahr-

Problem	Abhilfe
Ventil verstopft oder verklebt	Periodisches Säubern des Ventils (z. B. alle 10.000 Meilen) oder in kürzeren Abständen.
Explosion des Kurbelgehäuses durch Flammenrückschlag	Einbau einer Flammenschutzwendel in Ventil oder Gasrückführung
Kondensatbildung und Einfrieren bei niedriger Temperatur	Ventil nicht an Orten kalter Luftanströmung oder an Wassertankstellen einbauen

zeugen). Die genannten Maßnahmen wurden verwendet, um Schmutz und Wasser aus dem Kurbelgehäuse fern zu halten. Sie wurden auch in begrenzter Anzahl in Taxis eingesetzt, um die Kurbelgehäusedurchlüftung zu erhöhen. In dem obengenannten praktischen Einsatz bei Nutzfahrzeugen traten meist nur drei Probleme auf, die zusammen mit den daraufhin eingeführten einfachen Abhilfemaßnahmen in Bild III. 2-2 gezeigt sind.

**Bild III.2-2:** Probleme und Abhilfemaßnahmen beim Einsatz von Rückführsystemen für Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase in Nut- und Militärfahrzeugen zum Zwecke der Vermeidung von Ölverschmutzung (vor 1960), nach [487].

Mit dem ab 1961 erfolgten Einsatz eines prinzipiell vorhandenen Systems in der gro-

ßen Vielzahl und unter höchst unterschiedlichen Betriebsbedingungen laufenden Pkw-Motoren zum Zwecke der Emissionskontrolle traten jedoch neue Probleme auf. Besonders die Kalibrierung des Modulierventils war kritisch, mußten doch die drei Gefahren:

- unzureichende Durchflußmenge bei bestimmten Straßenlasten
- zu hoher Gasfluß im Leerlauf mit resultierendem schlechten Motorrundlauf
- unzureichende Durchsatzmöglichkeit bei Vollast

mit ein und demselben Ventil vermieden werden {488}.

Darüber hinaus neigte der relativ hohe zusätzliche Gasfluß ins Saugrohr dazu, die Gemischaufbereitung und -verteilung bei niedrigen Lasten und Geschwindigkeiten zu

Typ	0	I	II	III	IV
Bild					
Beschreibung	<p>Dieses „offene“ System entließ die Kurbelgehäuse-Gase durch ein Rohr in die Umwelt. Der am unteren Rohrende vorbeistreichende Fahrtwind bewirkte einen gewissen Saug-Effekt. Über den mit einer Öffnung versehenen Verschlussdeckel der Ventilhaube gelangte Spülluft in das Kurbelgehäuse. Dieses System wurde ab 1961 in Kalifornien aus Emissionskontrollgründen von Systemen des Typs I bis IV abgelöst.</p>	<p>Bei diesem „halboffenen“ System gelangen die Kurbelgehäuse-Gase und – unter den meisten Bedingungen – auch Spülluft über ein vom Saugrohr-Unterdruck gesteuertes PCV-Ventil ins Saugrohr. Im Leerlauf (hoher Saugrohr-Unterdruck) ist das Ventil zum Saugrohr hin geschlossen und nur ein kleiner definierter Querschnitt läßt Gase hindurch. Bei Flammenrückschlag vom Saugrohr her schließt das Ventil gegenüber dem Kurbelgehäuse ab („Motor-AUS“-Position). Dieses System war in den meisten Fahrzeugen amerikanischer Produktion von Modelljahr 1961 bis 1963 eingebaut.</p>	<p>Bei diesem „halboffenen“ System gelangen die Kurbelgehäuse-Gase und eine relativ konstante Menge Spülluft über ein Membran-Ventil, das vom Druck im Kurbelgehäuse gesteuert wird, ins Saugrohr. Mit steigendem Unterdruck im Kurbelgehäuse schließt die Membrane den freien Querschnitt ab. Bei sinkendem Unterdruck oder bei Überdruck im Kurbelgehäuse öffnet das Ventil. Bei diesem System muß die Spülluftmenge begrenzt werden, da das Ventil sonst dazu tendiert, voll zu öffnen und eine zu starke Abmagerung bewirken würde. Daher muß die Bohrung im Verschlussdeckel auf der Ventilhaube kalibriert sein.</p>	<p>Bei diesem „halboffenen“ System werden Kurbelgehäuse-Gase durch den Druckabfall im Luftfilter ins Saugrohr geführt. Es existieren „geschlossene“ Systeme, bei denen nirgends Spülluft eintreten kann. Während des normalen Betriebes tendiert das System infolge der Gas-(Gemisch-)Rückführung vor den Vergaser dazu, das Luft/Kraftstoffgemisch anzufetten. (Blowby-Gase bestehen weitgehend aus Luft/Kraftstoff-Gemisch.) Bei Neufahrzeugen wird dieses Anfeuchten durch Anpassen der Vergaser-Kalibrierung berücksichtigt.</p>	<p>Dieses „geschlossene“ System führt die Kurbelgehäuse-Gase sowohl zum Luftfilter wie auch zum Saugrohr zurück. Ausführungsformen kombinieren Typ I oder Typ II mit Typ III. Es wurden auch Systeme zertifiziert, deren Zuteilungsventil einen festen Querschnitt hatte. Kombinationssysteme bewältigten die Gasvolumenströme aller vorkommenden Motorbetriebszustände. Der Verschlussdeckel der Ventilhaube ist luftdicht. Im Teillastbetrieb werden die Gase über das PCV-Ventil abgesaugt. Die mitgesaugte geringe Spülluftmenge kommt hierbei über die Verbindungsleitung vom Luftfilter zur Ventilhaube. Durch diese Leitung geht – in umgekehrter Richtung – der Gasvolumenstrom bei Vollastbetrieb (bei Fahrzeugen mit hohem Gasvolumenstrom auch unter anderen Betriebsbedingungen).</p>
	<p><b>Funktion des PCV-Ventils</b></p> <p><b>Normaler Fahrbetrieb:</b> Gase aus dem Kurbelgehäuse strömen ins Saugrohr</p> <p><b>Verzögerung/Leerlauf:</b> Gase aus dem Kurbelgehäuse strömen durch limitierten Querschnitt</p> <p><b>Flammenrückschlag:</b> PCV-Ventil sperrt Verbindung zum Kurbelgehäuse</p>				<p><b>Funktion des Membran-Ventils</b></p> <p><b>Überdruck im Kurbelgehäuse:</b> Gas und Spülluft können austreten</p> <p><b>Unterdruck im Kurbelgehäuse:</b> Gas und Spülluft werden abgesperrt</p>

**Bild III.2-3:** Das historische „Road Draft Tube“-System und die ersten vier vom „California Motor Vehicle Pollution Control Board“ (CMVPCB) zertifizierten Verfahren zur Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse, nach [490].

**Diese Seite bleibt aus drucktechnischen Gründen leer**

**This page is intentionally left blank for technical (printing) reasons**



stören, und schließlich wurden bei Vollast die Gase aus dem Kurbelgehäuse nicht ausreichend abgesaugt (nur geringer Saugrohrunterdruck, aber Blowbygasanteil am höchsten), was zum Herausdrücken von Öl aus dem Einfüllstutzen führen konnte [488].

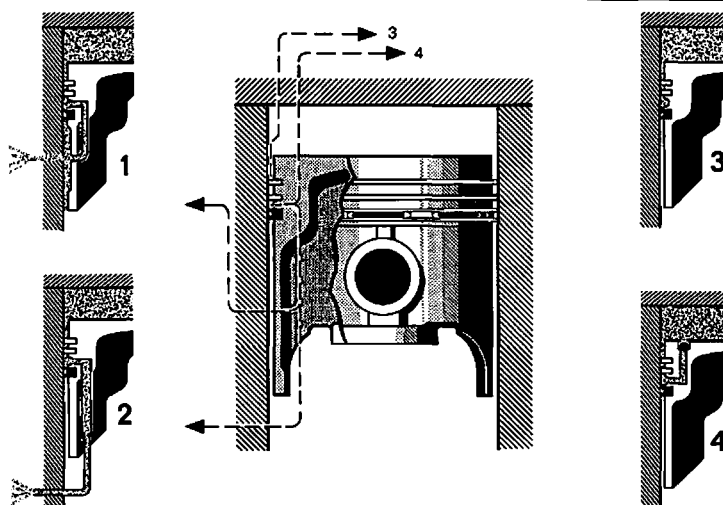
### 2.1.1 Die ersten in Kalifornien zertifizierten Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse

Nachdem auch obengenannte Probleme beherrscht wurden, konnte die Industrie beim "California Motor Vehicle Pollution Control Board" (CMVPCB) Antrag auf Zertifikation der vorgeschlagenen Systeme stellen, was durch einen bei dieser Behörde durchgeführten Dauerhaltbarkeitsnachweis über 12.000 Meilen möglich war. Die Tests und Zulassungen durch das CMVPCB begannen im Jahre 1961 [489]. Durch die derart zertifizierten Anlagen wurden vier verschiedene Methoden repräsentiert, die in Bild III.2-3 zusammengestellt und in ihren Funktionen beschrieben sind. Die Zulassung dieser vier Systeme war eine in der kalifornischen Emissionskontrollgesetzgebung verankerte Vorbedingung dafür, daß der Einsatz derartiger Anlagen in Pkw per Gesetz gefordert werden konnte.

Über die Erfahrungen mit PCV-Systemen ("Positive Crankcase Ventilation") im praktischen Einsatz wird in [491] berichtet. Bei 75.000 im Sommer 1970 überprüften Fahrzeugen verschiedener Modelljahre in 15 größeren Städten der USA hatten 26 % der 1966er Fahrzeuge verschmutzte PCV-Ventile, bei 5 % lag sogar positiver Druck im Kurbelgehäuse vor. Bei den 1968er Fahrzeugen betrugen diese Werte 13 % und 1 %. Hochgerechnet auf die gesamte Fahrzeugpopulation ergaben sich damit etwas mehr als 1 Million Fahrzeuge mit verschmutzten und etwa 8.800 Fahrzeuge mit verstopften PCV-Systemen. 1966er Modelle hatten zu diesem Zeitpunkt bei etwa 10.000 Meilen/Jahr rund 50.000 Meilen Laufstrecke seit der gesetzlichen Einführung der PCV-Systeme absolviert.

### 2.1.2 Ausführungsformen der "Blowby-Diversion"

In der Literatur sind auch Versuche zu finden, Blowbygase zur Reduzierung von Ölverschmutzung erst gar nicht ins Kurbelgehäuse gelangen zu lassen. Die aus dem Brenn-



**Bild III.2-4:** Vier Möglichkeiten der „Blowby Diversion“ (Vermeidung des Eintretens von Durchblasegasen in das Kurbelgehäuse), nach [492].

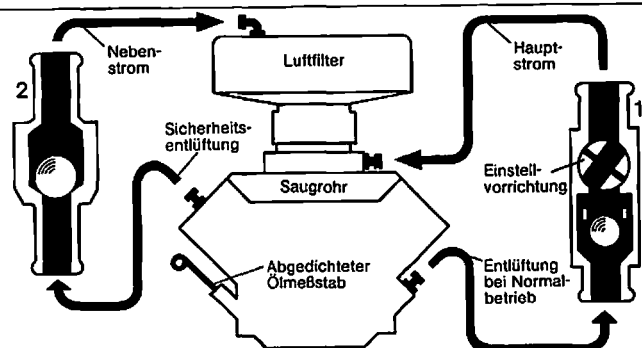
raum stammenden Durchblasegase werden hierzu vor Eintritt ins Kurbelgehäuse abgefangen und entweder in die Atmosphäre oder aber in den Brennraum zurückgeführt.

Obwohl diese beiden Verfahren im Rahmen von Emissionskontrollmaßnahmen nicht zum allgemeinen Serieneinsatz gelangten, seien die in [492] diskutierten vier Möglichkeiten der Realisierung des "Blowby-Diversion"-Prinzips in Bild III.2-4

dargestellt (1 und 2: Sammlung der Blowby-Gase über dem Ölabstreifring und Ableitung in die Atmosphäre; 3 und 4: Sammlung der Blowby-Gase über dem Ölabstreifring und Rückführung in den Brennraum).

### 2.1.3 Das "Negative Crankcase Pressure"-Verfahren

Zur Abrundung des Bildes über Versuche zur Blowby-Gas Kontrolle sei noch ein in {493} beschriebenes Verfahren zitiert, das sich durch einen fest einstellbaren Unterdruck im Kurbelgehäuse auszeichnet, womit Adaptierbarkeit an die verschiedensten Motortypen



und Verschleißzustände (d. h. Blowby-Gas Volumenströme) gegeben sein sollte.

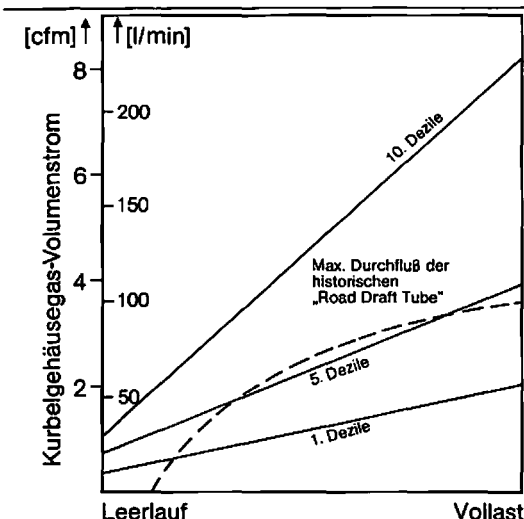
Eine Skizze zeigt dieses System in Bild III. 2-5. Mit Ventil 1 wird ein fester Kurbelgehäuseunterdruck (z. B. im Leerlauf bei betriebswarmem Motor Unterdruck am Ölpeilstab-Rohr gemessen) eingestellt. Ventil 2 dient zum Ableiten von extrem hohen Blowby-Gas Volumenströmen unter länger an-

**Bild III.2-5:** Das „Negative Crankcase Pressure“-Verfahren als Version eines geschlossenen Kurbelgehäuse-Entlüftungssystems, nach [494].

haltendem Vollastbetrieb. Von diesem System wurden in {493} keinerlei Probleme wie Verstopfen etc. berichtet.

### 2.1.4 Vergleich der historischen "Road Draft Tube" mit einem "Negative Crankcase Pressure"- und einem PCV-System

Der Unterschied der Wirkungsweise der historischen "road draft tube", des "negative crankcase pressure"-Verfahrens und einem System mit PCV-Ventil ist nach {493} in

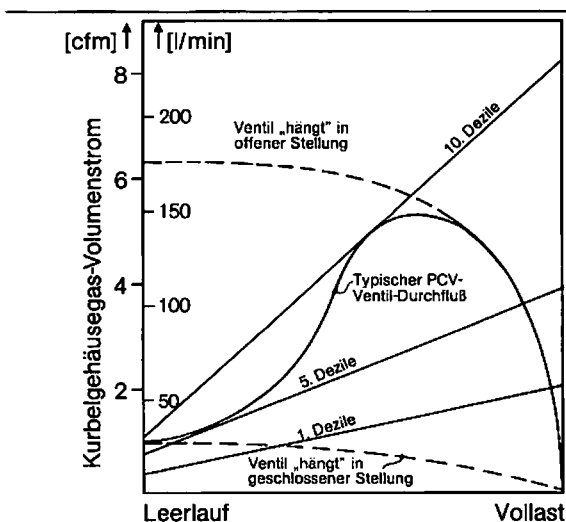


**Bild III.2-6:** Charakteristisches Durchflußverhalten der historischen „Road Draft Tube“, dargestellt an Kurbelgehäusegas-Volumenströmen von Motoren mit 250 bis 300 cu.in. ( $\approx 4100$  bis  $4900 \text{ cm}^3$ ) Hubraum [61], nach [495].

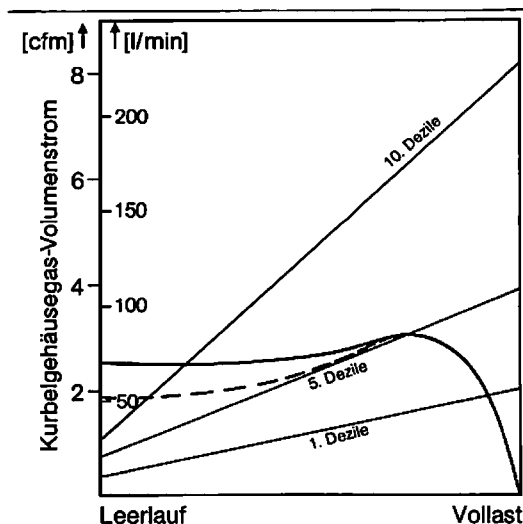
Bild III. 2-6, Bild III. 2-7 und Bild III. 2-8 veranschaulicht. Es ist zu beachten, daß bei der "road draft tube" im Leerlauf (Fahrzeugstillstand) keine Ventilation stattfindet, und daß dieses System bei Fahrzeugen, die zur 6. Dezilen- oder einer höheren Blowby-Produzenten-Gruppe gehören, unter keinen Motorbetriebszuständen für Ventilation sorgen kann. Die Dezilen-Darstellung ist hierbei aus Angaben in {61} abgeleitet und wurde in anderer Form bereits in Teil I, Bild I. 2-20 verwendet.

Das PCV-System bewältigt die praktisch vorkommenden Blowby-Volumenströme (lediglich bei Leerlauf an Fahrzeugen der 10. Dezile ist keine Ventilation vorhanden), birgt jedoch bei Hängenbleiben

des PCV-Ventils in offener Stellung durch die dann vorhandenen zu hohen Ventilationsvolumenströme die Gefahr schlechten Leerlaufverhaltens.



**Bild III.2-7:** Charakteristisches Durchflußverhalten eines Kurbelgehäuse-Entlüftungssystems mit PCV-Ventil, dargestellt an den Kurbelgehäusegas-Volumenströmen von Motoren mit 250 bis 300 cu.in. ( $\approx 4100$  bis  $4900 \text{ cm}^3$ ) Hubraum [61], nach [496].

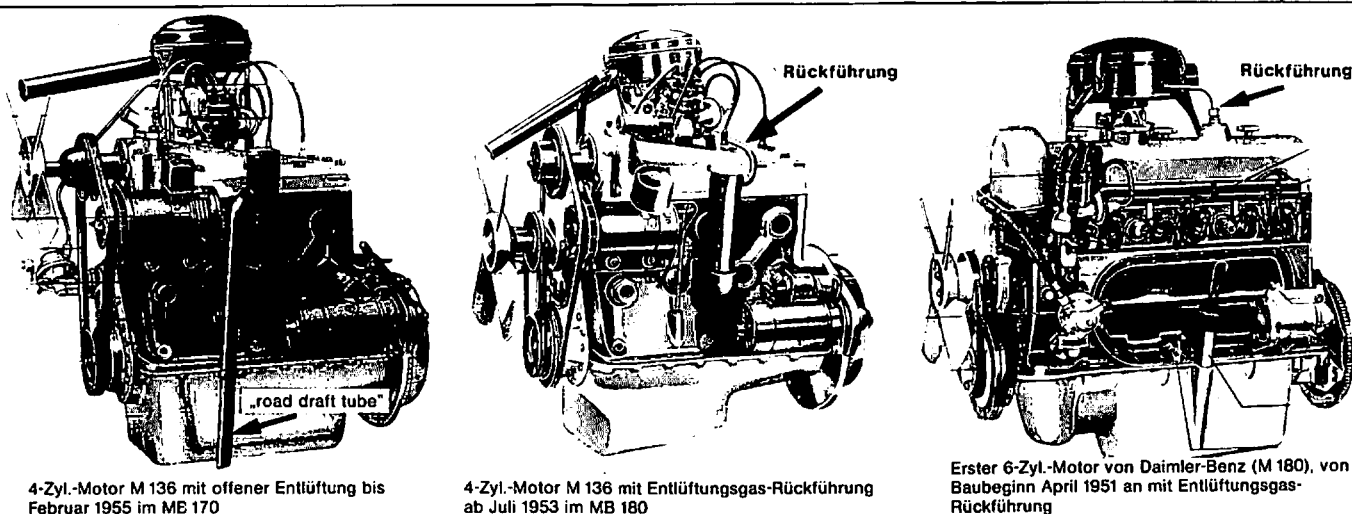


**Bild III.2-8:** Charakteristisches Durchflußverhalten eines „Negative Crankcase Pressure“-Systems, dargestellt an den Kurbelgehäusegas-Volumenströmen von Motoren mit 250 bis 300 cu.in. ( $\approx 4100$  bis  $4900 \text{ cm}^3$ ) Hubraum [61], nach [497].

Die Ventile des "negative crankcase pressure"-Systems haben gegenüber einem PCV-Ventil den Vorteil, daß sie nicht wie dieses in offener Stellung hängenbleiben und damit zu schlechtem Leerlaufverhalten führen können. Außerdem ist über fast dem gesamten Lastbereich des Motors eine relativ hohe konstante Ventilation gegeben, wie es in Bild III.2-8 unter Verwendung von [61] für Fahrzeuge der 5. Dezile gezeigt ist.

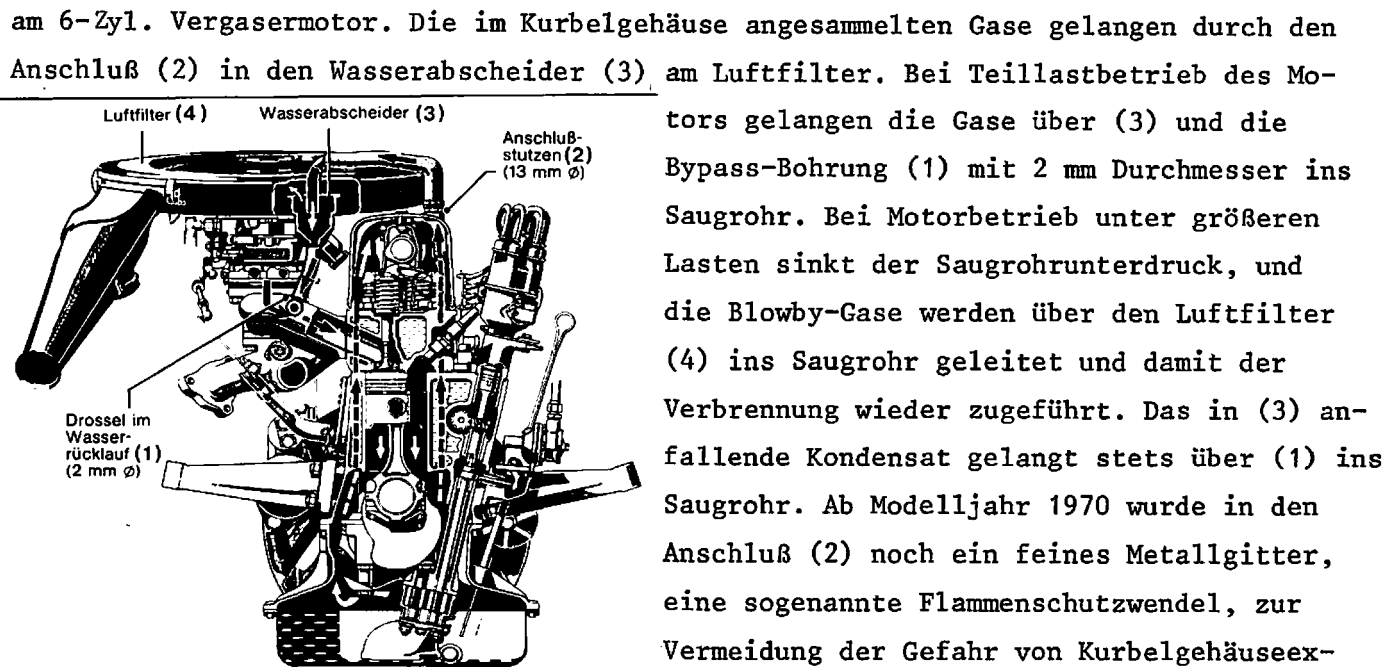
#### 2.1.5 Von Daimler-Benz eingesetzte Ausführungsformen

Daimler-Benz ersetzte die historische "road draft tube" erstmals am Motor M 180 2.2 l/6-Zyl. Vergasermotor) ab Baujahr 1951 durch das System Typ III, um Verschmutzung des Motoröls zu vermeiden. Diese sowie die bis dahin produzierte Anlage am 4-Zyl. Vergasermotor M 136 sind einander in Bild III.2-9 gegenübergestellt.



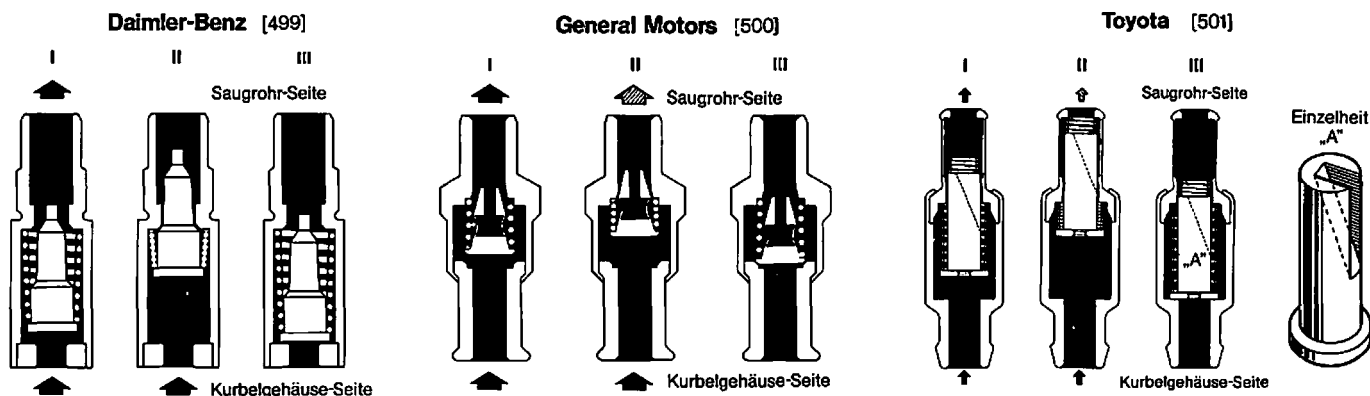
**Bild III.2-9:** Übergang vom offenen Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem auf das Prinzip der Kurbelgehäusegas-Rückführung an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren.

Die gezeigte Anordnung mit Rückführung der Blowby-Gase konnte auch noch in den ersten Jahren des Verbots von Emissionen aus dem Kurbelgehäuse aus Umweltschutzgründen beibehalten werden. Bild III.2-10 zeigt eine solche Anlage aus dem Modelljahr 1968



**Bild III.2-10:** Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftungsanlage am Mercedes-Benz 6-Zyl.-Vergasermotor im US-Modelljahr 1968, [498].

Außer Systemen, bei denen im Anschluß (2) nur ein fester Drosselquerschnitt von  $\approx 13$  mm eingesetzt war, wurden auch Motoren gebaut, die in diesem Anschluß ein PCV-Ventil integriert hatten (z. B. 2,8 l/6-Zyl. Vergasermotor M 110 im Modelljahr 1974). In Bild III. 2-11 ist dieses PCV-Ventil von Daimler-Benz anderen Ausführungsformen von Toyota und General Motors (GM) gegenübergestellt.



**Bild III.2-11:** Ausführungsformen des bei Kurbelgehäuse-Entlüftungsanlagen eingesetzten „Positive Crankcase Ventilation Valve“ (PCV-Ventil) und dessen Funktion. Position I: Konstantfahrt; Position II: Schließen bei plötzlicher Verzögerung oder im Leerlauf; Position III: Abdichten gegen das Kurbelgehäuse bei Flammenrückschlag („Backfire“-Position), [499, 500, 501].

Position I repräsentiert hierbei jeweils normalen Konstantfahrbetrieb des Motors. Bei Verzögerungen (Position II) schließen die Ventile von Daimler-Benz und Toyota völlig ab, das Ventil von GM läßt über einen Bypass-Kanal noch eine (geringe Gasmenge durch. In der "backfire" (Rückschlag) -Position III (die auch bei abgestelltem Motor vorliegt) schließen alle drei Ausführungsformen das Saugrohr zum Kurbelgehäuse hin ab.

In späteren Jahren wurde das PCV-Ventil bei Daimler-Benz jedoch wieder durch feste (und sehr kleine) Drosselquerschnitte abgelöst, damit die empfindlicher gewordenen (da mit immer weniger Luft arbeitenden) Leerlaufsysteme ungestört funktionieren konnten.

## 2.2 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Verdunstungs-Emissionen aus dem Kraftstoff-System

Zu den ersten Veröffentlichungen über die Messung von Verdunstungsverlusten aus dem Vergaser zählt eine Schrift von Legatski und Couch, die bereits im Sommer 1937 drei Fahrzeuge auf diese Emissionen hin untersucht hatten {502}. In der darauffolgenden Zeit waren etwa eine Dekade vor erstmaliger gesetzlicher Begrenzung von Verdunstungsemissionen aus Pkw in Kalifornien Herkunft und Menge derartiger Luftverunreinigungen wieder Gegenstand detaillierter Untersuchungen {503}. Wie jedoch selbst seitens der beteiligten Behörden noch knapp 3 Jahre vor dem erstmals per Gesetz geforderten Einbau von Verdunstungskontrollanlagen festgestellt werden mußte, bestanden größte meßtechnische Probleme bei der korrekten Erfassung dieser Emissionen.

Man arbeitete z. B. mit Dichtemeßmethoden {504}, die aufgrund der in der Schwimmerkammer des Vergasers vorgefundenen Kraftstoffdichte auf die verdunstete Kraftstoffmasse schlossen, mit denen jedoch Verluste aus dem Kraftstofftank bei bestimmten Fahrzeugkonstruktionen (Fahrzeuge mit Rücklaufleitung von der Benzinpumpe zum Tank) nicht ermittelt werden konnten. Als weiteres Verfahren bediente man sich des sogenannten "cold trapping" {503}, d. h. man erfaßte die Verdunstungsmasse mittels eines Kondensationsbehälters. Hierbei wurden die Verdunstungsgase entweder durch spezielle Umbauten vom Vergaser abgeleitet, oder sie wurden ohne Modifikationen des Vergasers mittels eines Plastikbeutels aufgefangen und dann zur Messung der verdunsteten Kraftstoffmasse abgekühlt.

Ein Jahr nach den Arbeiten von Wentworth {503} initiierte die AMA ein Programm zur Bestimmung von Verlusten aus Tank und Vergaser, dessen Ergebnisse 1961 veröffentlicht wurden {505}. Im Jahre 1965 begann ein Anschlußprogramm des CRC ("Coordinating Research Council"), das sich hauptsächlich mit der sicheren Bestimmung von Verlusten aus dem Vergaser befaßte und die AMA-Erkenntnisse erweitern sollte {506}. Die Ergebnisse dieses Programmes spiegeln die immer noch vorhandenen meßtechnischen Probleme wider:

- a) "cold trapping" ist sehr zeitaufwendig, daher unpraktikabel im Feldeinsatz; ergibt sehr schlechte Abschätzung der wahren Verluste bei manchen Fahrzeugen
- b) indirekte Methoden (Dichtemethode, Flüssigkeits/Dampfbestimmung) sind schneller, billiger, einfacher und im Ergebnis treffsicherer

Der Bericht schließt mit der Empfehlung, daß der CRC "baldmöglichst ein intensives Programm zur Weiterentwicklung von Methoden zur Messung von Verdunstungsemissionen entwickeln" solle {507}. Dieses Programm zur Erarbeitung einer brauchbaren Meßtechnik wurde 1966 initiiert und im Januar 1967 erfolgte Veröffentlichung der Ergebnisse {508}. Auch diese Untersuchungen kamen noch zu dem Schluß, daß die geprüften Verfahren "Fehler und Ungenauigkeiten enthielten, die weit höher als erwünscht" lagen.

Im Februar des gleichen Jahres gelangte der Automobilindustrie erstmals ein Vorschlag des DHEW ("Department of Health Education and Welfare") zur Kenntnis, nach

dem die Verdunstungsverluste aus dem Kraftstoffsystem eines Fahrzeuges in einer geschlossenen Meßkabine (SHED = "Sealed Housing for Evaporative Emissions Determination") zu ermitteln war. Schon im Februar 1967 wies General Motors die Funktions-tüchtigkeit und Überlegenheit des SHED gegenüber allen bisher untersuchten Meßmetho-den nach {509}. Obwohl das SHED-Verfahren bereits zu diesem Zeitpunkt meßklar war, wurde in den ersten Jahren mit gesetzlicher Begrenzung der Verdunstungsemission noch mit einer "trapping" (Fallen) -Technik gearbeitet, bei der während des Verdunstungs-testes Aktivkohlebehälter an alle Öffnungen, aus denen Verdunstungsgase entweichen konnten, angeschlossen wurden (z. B. Luftfiltereinlaß, Tankdeckel, Sicherheitsventil für Tankbe- und -entlüftung etc.). Das SHED-Verfahren kam erst ab Modelljahr 1978 aufgrund einer entsprechenden EPA ("Environmental Protection Agency") -Forderung zum Einsatz.

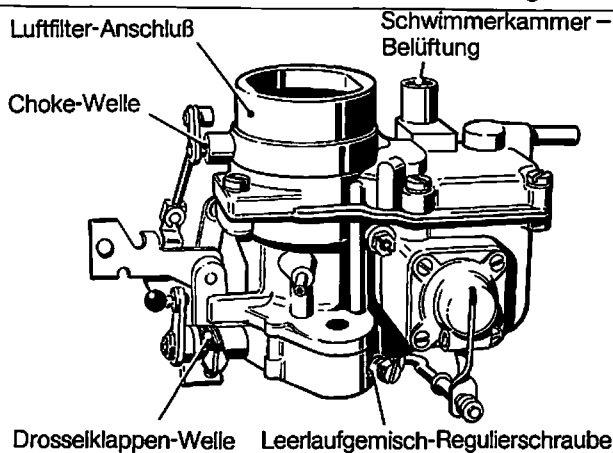
Im Zusammenhang mit der Gesetzgebung zur Begrenzung von Verdunstungsverlusten, den langjährigen Bemühungen zur Bereitstellung einer geeigneten Meßtechnik sowie der Ent-wicklung der benötigten Kontrollsysteme sei auf einen Vorschlag hingewiesen, Verant-wortung und Anstrengungen zwischen Automobil- und Mineralölinindustrie aufzuteilen: Seitens der Automobilindustrie wurde bei Senkung des Kraftstoffdampfdruckes [z. B. von 0,67 bar (9,7 psi) auf 0,41 bar (5,9 psi)] eine Verringerung der Verdunstungs-emissionen bis zu 68 % sowie eine Senkung der Reaktivität, d. h. der "Smogbildungs-Freundlichkeit" der verdunsteten HC-Mengen bis zu 65 % für möglich gehalten {510}. In groß angelegten Feld-Versuchen (GM-1.800 Wagen-Studie) wurden Auswirkungen auf Fahrverhalten und Kraftstoffannahmehancen im Markt ("consumer's acceptability") ge-testet. In der Diskussion dieser Untersuchungen {511} vertrat die Mineralölinindustrie die Auffassung, daß selbst eine 50prozentige HC-Reduzierung aus Verdunstungsverlu-sten durch Verwendung von Kraftstoffen mit niedrigerer Flüchtigkeit im Los Angeles-Becken nur zu einer 10prozentigen Senkung der Gesamt-HC-Emissionen führen, und die mit der Einführung dieses Kraftstoffes verbundenen Nachteile wie verschlechtertes Fahrverhalten und Kostensteigerungen (Preiserhöhung > 1 cent/gal) nicht rechtfertigen würde {512}.

Bezüglich einer chronologischen Betrachtung der motor- und fahrzeugtechnischen Maß-nahmen zur Kontrolle der Verdunstungsemissionen ist festzuhalten, daß die später näher beschriebenen Systeme mit Speicherung der Verdunstungsgase im Kurbelgehäuse oder in einem Aktivkohlebehälter zeitlich gleichzeitig zum Serieneinsatz gelangten. Mit Verschärfung der Auspuff- und Verdunstungsemissionsgrenzwerte kam das Kurbel-gehäuse-Speichersystem jedoch bald an seine Anwendbarkeitsgrenze und wurde durch das Aktivkohle-Speichersystem abgelöst, dessen Grundlagen in der Patent-Literatur schon im Jahre 1960 beschrieben werden {513}.

#### 2.2.1 Maßnahmen am Vergaser

Zur Reduzierung oder Vermeidung der durch den Vergaser verursachten Verdunstungsemis-sionen war es zunächst erforderlich, die am Beispiel von Bild III. 2-12 gezeigten

Leckstellen zu beseitigen. Dies erfolgte durch Abdichten sämtlicher Wellendurchgänge und Gewinde sowie durch Umstellung von Außen- auf Innenbelüftung für die Schwimmer-



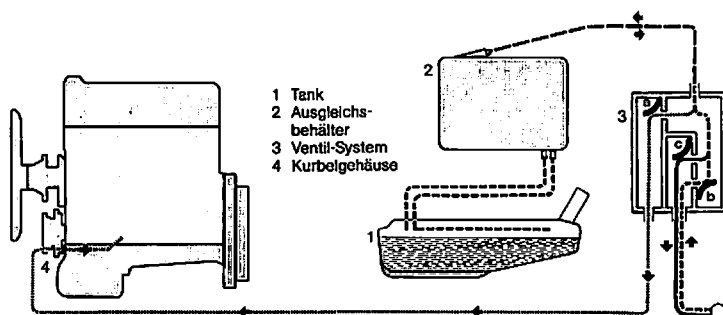
kammer. Da aber auch die über die Innenbelüftung entweichenden Verdunstungsgase bei Motorstillstand über den Luftfiltereintritt oder den Auspuff (Ventilüberschneidung!) in die Atmosphäre gelangen können, mußten die Luftfiltergehäuse so groß bemessen sein, daß sie als Speicher für die aus der Schwimmerkammer entweichenden Gasvolumina ausreichten, ohne daß unzulässig viel Verdunstungsgase über den Luftfilterschnorchel in die Atmosphäre gelangen konnten. Die Gehäusekonstruktion des Luft-

**Bild III.2-12:** Undichtheiten am Vergaser

filters mußte bis auf diesen Lufteinlaß gasdicht gestaltet werden. Nach dem Motorstart wurden die im Luftfilter gespeicherten Benzindämpfe im Motor mitverbrannt.

### 2.2.2 Speicherung der Verdunstungsgase aus dem Kraftstofftank im Kurbelgehäuse am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw

Bei Vergasermotoren stellt der Kraftstofftank die zweite, bei Einspritzmotoren die einzige Quelle für Verdunstungsemissionen dar. Die ersten Systeme zur Begrenzung der Emissionen durch Kraftstoffverdunstung aus dem Tank bedienten sich der bereits vorhandenen Hohlräume des Kurbelgehäuses zur Einlagerung der Benzindämpfe durch Kondensation. In Bild III. 2-13 ist eine Kurbelgehäuse-Speicheranlage von Daimler-Benz abgebildet. Der Raum über dem Motorölspiegel mit oberer Begrenzung durch den Zylinderblock und der Raum, der unter der Abdeckhaube für den Steuermechanismus gebildet wird, ist aus Entlüftungsgründen immer miteinander verbunden (je nach Motorkonstruktion



z. B. durch den Kettenkasten für die Nockenwelle, durch Ölabbfluß oder Stößelstangenöffnungen). In diesem Raum werden die vom Kraftstofftank (1) kommenden Gase eingeleitet. Der Tank enthält eine Vorrichtung z. B. in Form eines Ausgleichsbehälters (2), der einerseits

**Bild III.2-13:** Erste Ausführung einer Anlage zur Kontrolle der Kraftstoff-Verdunstungsemissionen durch Speicherung der Verdunstungsgase aus dem Kraftstofftank im Kurbelgehäuse des Motors in Mercedes-Benz Fahrzeugen des US-Modelljahres 1970, [514].

für eine Trennung von flüssigem und gasförmigem Benzin sorgt und außerdem als

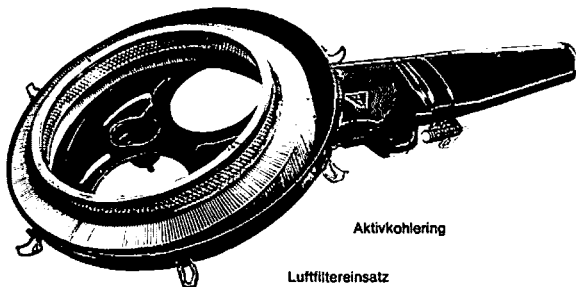
Zusatzvolumen für die thermische Benzinausdehnung dient. Zwischen Tank und Motor ist eine Ventileinheit (3) geschaltet. Diese besteht aus einer kombinierten Anordnung von drei Ventilen: Überdruckventil (a), Unterdruckventil (b) und Sicherheitsventil (c). Durch das Ventil (a) wird im Tank ein geringer Überdruck (30 bis 50 mbar) gehalten. Dieser wirkt auf das Benzin verdunstungshemmend [515].

Bei geringer Erwärmung des Benzins verhindert das geschlossene Ventil (a) ein Ausströmen der Benzingase aus dem Tank gänzlich. Der auf diese Weise dichtgemachte Tank er-

fordert den Einbau eines Unterdruckventils (b), damit bei Abkühlung oder Benzinentnahme der Druckausgleich zur Außenluft vor sich gehen kann. Das Sicherheitsventil (c) öffnet in Notfällen und bei Extrembedingungen direkt zur Atmosphäre, wodurch zu hohe Drücke im Tank vermieden werden {515}.

Die über das Ventil (a) strömenden Gase werden dem Kurbelgehäuse (4) über eine Drossel zugeführt. Die Drossel verhindert durch Aufbau eines geringen Überdruckes ein frühzeitiges Kondensieren der Benzingase in der Leitung. Der eigentliche Kondensationsvorgang im Kurbelgehäuse und im Motoröl geht nur vor sich, wenn das Temperaturniveau dort so niedrig ist, daß das ankommende Benzingas nicht aufgeheizt wird. Bei den im täglichen Betrieb vorkommenden Situationen ist dies auch der Fall. Bis sich ein Überdruck im Tank aufgebaut hat und Gase vom Tank zum Motor kommen, ist dieser soweit abgekühlt, daß Benzindämpfe gespeichert werden können {515}.

Während der Fahrt werden die Gase aus dem Kurbelgehäuse abgesaugt. Dies geschieht über die Kurbelgehäuse-Entlüftungsanlage, die für jeden Otto-Motor gesetzlich vorgeschrieben ist. Mit den Motorentlüftungsgasen gelangen auch die eingelagerten Benzingase in den Brennraum des Motors und werden mitverbrannt. Dieser Vorgang läuft in relativ kurzer Zeit nach dem Wiederstarten des Motors ab. Die hierbei erfolgende zusätzliche Anreicherung des Benzin-Luftgemisches muß bei der Auslegung der Auspuff-Emissionskontrollsysteme berücksichtigt werden {515}.



**Bild III.2-14:** Zusätzliche Speicherung von Verdunstungsgasen in einem Aktivkohlering im Luftfilter des Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl.-Vergasermotors im US-Modelljahr 1972, [516].

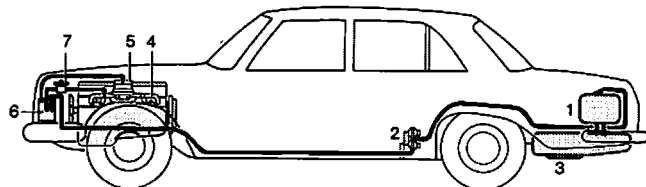
In Fällen zu hoher Verdunstungsvolumina aus dem Kraftstofftank und für ein durch Platzverhältnisse im Motorraum vorgegebenes maximales Bauvolumen des Luftfiltergehäuses wurde zur Erhöhung der Speicherkapazität bei Daimler-Benz ein zusätzlicher Aktivkohlering in den Luftfilter eingelegt. Eine solche Ausführung, die bereits einen Grenzfall darstellt und den notwendigen Übergang zu den in Kap. 2.2.3 beschriebenen Systemen andeutet, ist in Bild III. 2-14 gezeigt.

### 2.2.3 Speicherung der Verdunstungsgase aus dem Kraftstofftank in einem Aktivkohle-System am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw

Mit zunehmender Verschärfung der Emissionskontrollgesetzgebung in den USA wurde der Einfluß der mitzuverbrennenden Benzingase auf den Gesamt-Emissionswert der Abgase so groß, daß eine Verdunstungskontrollanlage entwickelt werden mußte, die es ermöglichte, die Verbrennung der angesammelten Benzindämpfe zu regeln {515}.

Die während der Aufheizung des Kraftstofftanks (z. B. beim Parken des Fahrzeuges auf heißem Asphalt) entstehenden Benzindämpfe werden dabei von einem Aktivkohlespeicher adsorbiert. Während des Fahrbetriebes wird dieser Speicher wieder entleert. Die Aktivkohle wird dabei durch einen geregelten Luftstrom desorbiert (regeneriert).





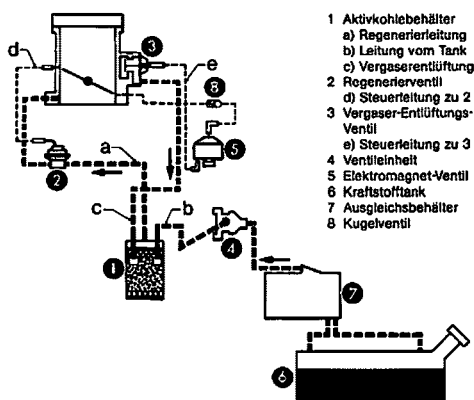
- 1 Ausgleichsbehälter
- 2 Ventilsystem
- 3 Kraftstoffbehälter
- 4 Saugrohr

- 5 Vergaser mit Schwimmerkammer-Belüftung
- 6 Aktivkohlebehälter
- 7 Spülventil

**Bild III.2-15** Ausführung einer Anlage zur Kontrolle der Kraftstoffverunstöpfungsemissionen durch Speicherung der Verunstöpfungsgase aus dem Kraftstofftank und Vergaser in einem Aktivkohlebehälter in Mercedes-Benz Fahrzeugen des US-Modelljahres 1974 (Kalifornien), [517].

In Bild III. 2-15 ist ein Mercedes-Benz Fahrzeug mit Aktivkohleanlage dargestellt. Die Benzindämpfe vom Tank (3) gelangen über zwei Entlüftungsleitungen zum Ausgleichsbehälter (1) und werden von der höchsten Stelle dieses Behälters durch das Ventilsystem (2) geleitet. Übersteigt der Gasdruck im Tank den Öffnungsdruck des Überdruckventils der Ventileinheit (2) so strömen die Dämpfe in der Leitung zum Aktivkohlebehälter (6). In

Bild III. 2-16 ist das Schaltschema des Aktivkohlesystems gezeigt. Es funktioniert nach folgendem Prinzip:



**Bild III.2-16:** Schema einer Anlage zur Speicherung und Regenerierung von Verdunstungsgasen in einem Aktivkohlebehälter für Mercedes-Benz PKW ab US-Modelljahr 1975, nach [515].

Beladen der Aktivkohle: Besonders beim Parken mit abgestelltem Motor fallen Benzindämpfe aus dem Tank und/oder aus der Vergaserschwimmerkammer zur Speicherung (Adsorption) in der Aktivkohle an. Bei stehendem Motor ist das elektromagnetische Ventil (5) stromlos, es belüftet nach außen, der Unterdruck in der Leitung (e) fällt ab, Ventil (3) am Vergaser schaltet durch Federkraft auf Außenbelüftung d. h. der Weg zum Aktivkohlebehälter für die in der Schwimmerkammer entstehenden Benzindämpfe ist frei (Leitung c). Außer-

dem werden von der Aktivkohle die über die Leitung (b) vom Tank ankommenden Dämpfe adsorbiert [518].

Entladen der Aktivkohle: Beim Einschalten der Zündung erhält auch das Ventil (5) elektrische Spannung; es schaltet die Verbindung mit der Außenluft ab. Leitung (e) ist nun über das Kugelventil (8) mit dem Saugrohr verbunden. Beim Anlassen baut sich durch den anlaufenden Motor Unterdruck in Ventil (3) auf, und es schaltet auf Vergaser-Innenbelüftung. Ventil (8) ist in drucklosem Zustand geschlossen. Es verhindert, daß während des Motorbetriebes, z. B. bei Vollast, der in der Leitung (e) aufgebaute Schaltunterdruck absinken kann. Somit steht bei Motorbetrieb Ventil (3) immer auf Stellung "Innenbelüftung" d. h. es fließen keine Dämpfe zum Aktivkohlebehälter. Durch den laufenden Motor baut sich in der Leitung (a) ebenfalls Saugrohrunterdruck auf. Auf diese Weise wird vom Motor ein kleiner Teil der Ansaugluft über den Aktivkohlebehälter gesaugt [518].

Das über die Leitung (d) gesteuerte Ventil (2) ist bei Motor-Leerlaufstellung drucklos und geschlossen. Über eine Bypassöffnung in Ventil (2) strömt in dieser Stellung nur ein kleiner Teil der Regenerierluft durch die Aktivkohle. Bei Bewegung der Drosselklappe fällt die Steuerbohrung der Leitung (d) in den Unterdruckbereich des Ver-

gasers. Ventil (2) öffnet nun den ganzen für die Regenerierung vorgesehenen Querschnitt. Dieser Schaltpunkt wird im 4. Gang bereits bei etwa 40 km/h erreicht, d.h. auch im reinen Stadtverkehr regeneriert sich die Aktivkohle bereits vollständig {518}.

## 2.3 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem

### Auspuff: Eingriffe vor dem Brennraum

Wie in Teil I, Bild I. 2-3, gezeigt, reichen Grundsatzuntersuchungen zur Erforschung der Zusammenhänge bei der motorischen Verbrennung, zur Bestimmung und Messung der entstehenden Verbrennungsprodukte und über Möglichkeiten zur Verringerung oder Vermeidung verschiedener Schadstoffanteile im Abgas weit in die Anfänge dieses Jahrhunderts zurück. Wie die erste bekannte Abgasanalyse von Rudolf Diesel im Jahre 1895 dienten diese Arbeiten an Verbrennungsvorgängen, an Zündsystemen und zur Schadstoff-(CO-) Senkung zunächst ausschließlich der Optimierung des Brennverfahrens zwecks Leistungssteigerung, verbesserten Leerlaufverhaltens und Verbrauchssenkung.

In den Anfängen um 1930 und in starker Konzentration ab etwa 1950 begannen direkt auf Schadstoffeffassung und -verringerung ausgerichtete Bemühungen bei Forschungsstellen und Automobilindustrie, so daß zum Zeitpunkt, als die ersten Emissionskontrollgesetze der Welt in Kalifornien Ende der 50er Jahre Gestalt annahmen, bereits gute Kenntnisse über die emissionsbezogenen motortechnischen Gegebenheiten und Möglichkeiten vorlagen. Diese Feststellung wird belegt durch die Tatsache, daß schon die in Kap. 6.5 von Teil II beschriebene Entwicklung der ursprünglichen kalifornischen Fahrzyklus/Test-Kombination (7-mode/11-mode-Test) anhand des Ansprungsverhaltens von Katalysatorkonzepten auf ihre Eignung zur Simulation realer Verkehrsverhältnisse geprüft wurde {519}.

Auch die "Exhaust System Task Group", die im Juli 1955 durch das "Vehicle Combustion Products Subcommittee" der AMA mit der Aufgabe, Methoden zur HC-Senkung im Automobilabgas zu studieren, gegründet wurde, faßt am Schluß ihrer diesbezüglichen Arbeit {520} zusammen:

"Oxidation scheint die praktischste Methode zur Beseitigung der unverbrannten Kohlenwasserstoffe im Automobilabgas zu sein. Eine Anzahl solcher Systeme - thermische wie auch katalytische Nachbrenner - wurden in diesem Programm untersucht. Eins davon - ein Katalysatorsystem - ist vielversprechend. In Straßentests, nach Erwärmung, hat dieser Versuchskatalysator etwa 80 % der unverbrannten Kohlenwasserstoffe im Abgas beseitigt".

"Der Katalysator (Material exakt nicht bekannt, jedoch kein Pd oder Pt ) war bis jetzt resistent gegenüber TEL-Verbrennungsprodukten".

"Lebensdauertests sind noch nicht beendet".

"Thermische Nachbrenner zeigen weniger Wirkung als Katalysatoren".

Zwischen dem Zeitpunkt dieser Aussagen und der ersten gesetzlichen HC-Begrenzung lagen weitere 8 Jahre. Gemessen an den Anstrengungen und Erfolgen der Automobilindustrie nach Verabschiedung der "Statutory Standards" in den "Clean Air Amendments" von 1970,

mag dieser Zeitraum zunächst als schlecht genutzt erscheinen. Es darf jedoch nicht überraschen, daß die 8 Jahre später erstmals zum serienmäßigen Einsatz gelangenden "Emissionskontrollsysteme" zum Teil nur aus Einstellmaßnahmen am Motor bestanden und - mit Ausnahme der Lufteinblasesysteme - auch in den weiteren Jahren nicht das zur allgemeinen Luftqualitätsverbesserung technisch Bestmögliche, sondern das zur Erfüllung der jeweils gültigen Emissionsgrenzwerte technisch Erforderliche darstellten. Den Umfang des technisch Erforderlichen bestimmte hierbei nicht die Automobilindustrie, sondern der Gesetzgeber durch die von ihm für notwendig gehaltenen und daher vorgeschriebene Emissionsgrenzwerte.

Von den beim Otto-Motor zur Erfüllung dieser Grenzwerte vor dem Brennraum - d. h. an Luftzufuhr, Vergaser- oder Einspritzanlage und Saugrohr - im Rahmen von Emissionskontrollbemühungen untersuchten und praktisch ausgeführten Eingriffen sollen nachfolgend einige charakteristische Beispiele im Aufbau skizziert, in ihrer mechanischen Funktion erläutert und in ihrer Auswirkung auf das Emissionsverhalten des Fahrzeuges untersucht werden. Die obengenannten Eingriffsmöglichkeiten beziehen sich alle auf den Komplex der Gemischbildung, Gemischbeeinflussung und Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder des Motors.

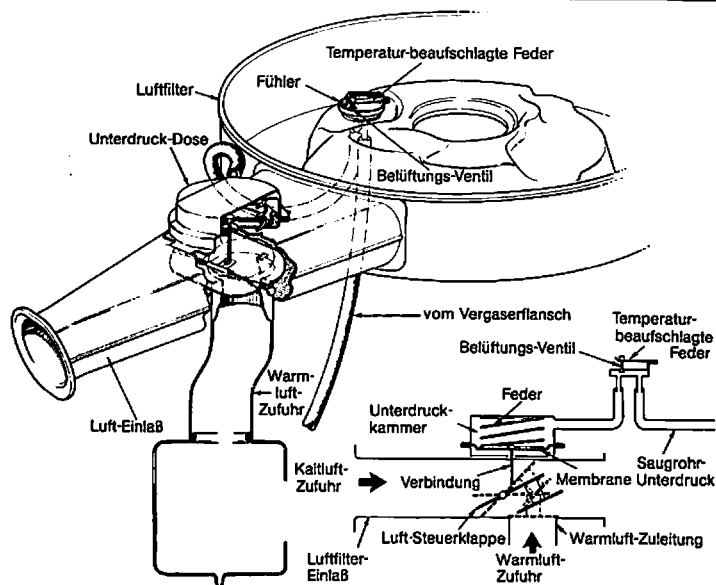
### 2.3.1 Maßnahmen an der Luftzufuhr

Maßnahmen vor dem Gemischaufbereitungssystem beschränken sich hauptsächlich auf eine Anwärmung des zugeführten Luftstromes. Die Vorwärmung beeinflusst die Temperatur der

Prinzip	Komponenten des Steuerungsmechanismus	Charakteristik der Steuerung	
I	Luftklappe mit Thermostat	Luftklappe nur von Ansauglufttemperatur gesteuert	angesaugten Luft bei warmem Wetter kaum, führt jedoch zu einer spürbaren Erhöhung der Ansauglufttemperatur bei kaltem Wetter. Eine dadurch erreichte Verringerung der im Motorbetrieb auftretenden Temperaturschwankungsbreite erlaubt die Verwendung magerer Gemische und senkt (unter Beibehaltung guter Fahreigenschaften) die HC- und CO-Emissionen. NO <sub>x</sub> -Emissionen, die während des Warmlaufes ohnehin in ge-
II a	Luftklappe mit Thermostat und kombiniertem „override“ (im Luftfilterschnorchel)	Luftklappe von Ansauglufttemperatur, „override“ von Motorbelastung gesteuert	
II b	Luftklappe mit Thermostat und separatem „override“ (im Luftfiltergehäuse)		
III	Luftklappe mit Thermostat und kombiniertem „override“ sowie temperaturgesteuertem Nebenluftventil im Luftfiltergehäuse	Luftklappe von Ansauglufttemperatur, „override“ und Ansauglufttemperatur gesteuert	

**Bild III.2-17:** Verfahren zur Steuerung der Ansaugluft-Vorwärmung ringeren Konzentrationen entstehen als während des Motorbetriebes unter Normaltemperaturbedingungen, werden durch die nur beschränkt mögliche Erhöhung der Ansauglufttemperatur nicht nennenswert beeinflusst. Die grundsätzlichen Möglichkeiten einer Warmluftsteuerung sind in Bild III. 2-17 zusammengestellt.

Das Prinzip einer rein thermostatisch gesteuerten Anlage wurde z. B. von der American Motors Corporation (AMC) in den Modelljahren 1968 bis 1971 eingesetzt und entsprach der in Bild III. 2-19 gezeigten Anlage nur ohne Vakuum-Motor. Die angesaugte Luft kam entweder aus dem Motorraum, von einer Auspuffummantelung oder wurde - aus

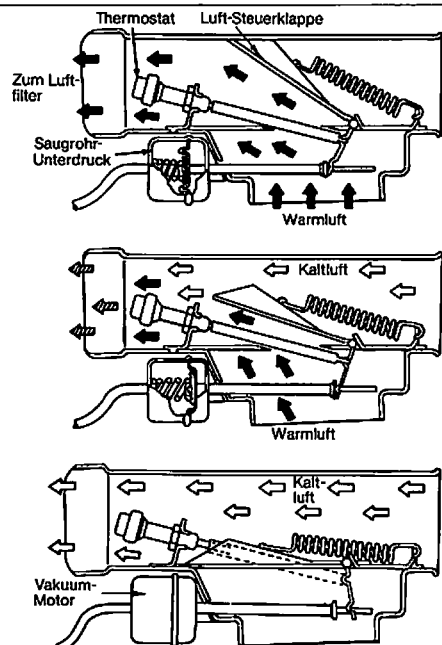


**Bild III.2-18:** Aufbau und Funktion der von General Motors in den Modelljahren 1968 bis 1971 eingesetzten thermostatisch gesteuerten Ansaugluftvorwärmung, [521].

Luftfilter mit dem Saugrohrunterdruck verbunden. Sobald dieser Sensor mit einer Temperatur  $< 46\text{ }^{\circ}\text{C}$  beaufschlagt wird, schließt das mit ihm gekoppelte Luft-Bypassventil ("air bleed valve") und voller Saugrohrunterdruck gelangt auf den Vakuum-Motor, der die Luftklappe in Heizstellung zieht. Bei Temperaturen  $> 46\text{ }^{\circ}\text{C}$  öffnet der Temperatursensor die Nebenluftbohrung, wodurch der am Vakuum-Motor liegende Unterdruck abgebaut und die Luftklappe auf "Heißluft-AUS"-Stellung gedrückt wird. In jedem Fall be-

beiden Quellen gemischt - über den Luftfilter angesaugt. Mit dieser Steuerung konnte die Ansaugluft stets bei  $46\text{ }^{\circ}\text{C}$  gehalten werden. Eine Justierungsmöglichkeit war durch Verdrehen des Thermostaten gegeben.

Für die Modelljahre 1972 bis 1974 ging AMC dann auf das Prinzip der temperatur- und lastabhängigen thermostatisch gesteuerten Warmluftregelung über, die in Bild III. 2-18 dargestellt ist. Dieses Verfahren wurde auch an verschiedenen GM-Fahrzeugen eingesetzt. Der Vakuum-Motor ist hierbei über einen Temperaturschalter im

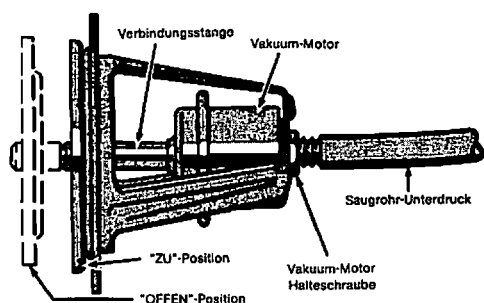


**Bild III.2-19:** Steuerung der Ansaugluft-Vorwärmung an Ford-Fahrzeugen ab Modelljahr 1968 mit Thermostat und Vakuum-Motor („vacuum override“), [522].

wegt der Vakuum-Motor die Luftklappe in die "AUS"-Stellung, wenn bei Temperaturen im Luftfilter  $> 46\text{ }^{\circ}\text{C}$  geringer Saugrohrunterdruck herrscht, wie z. B. bei Vollastbeschleunigungen oder abgestelltem Motor.

Ähnlich dem Verfahren von AMC verwendete Ford vor Modelljahr 1968 Luftklappensteuerungen ohne Vakuum-Motor. Eine Besonderheit war hier jedoch die sogenannte "zip tube", die dem Motor Frischluft aus dem Bereich vor dem Kühlergrill zuführte (und nicht wie bei AMC aus dem Motorraum). Die Heißluft war bei Ford ab  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  abgeschaltet. Bild III. 2-19 zeigt die dann ab Modelljahr 1968 benutzte Variante dieser Ausführung mit Vakuum-Motor unterhalb des Luftfilterschnorchels, dem sogenannten "vacuum override", der im Prinzip wie bei AMC beschrieben gesteuert

wird (thermostatisch-lastabhängiges System). Allerdings war der Weg des "override" begrenzt, so daß er z. B. bei Vollgas die Luftklappe nur in halbgeschlossene Stellung drücken konnte. Befand sich die Klappe bereits in dieser Stellung, hatte der "override" auch bei Beschleunigungen keine Wirkung.

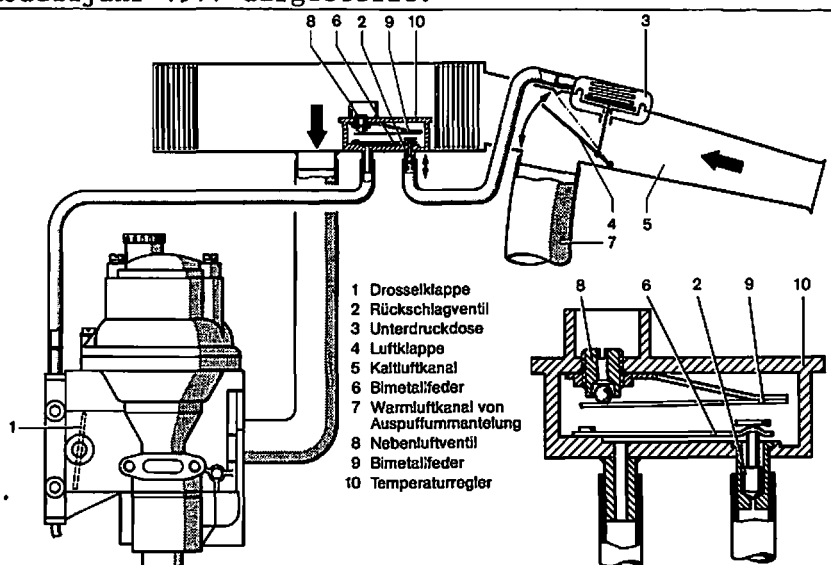


**Bild III.2-20:** Ausführung eines „vacuum override“ für den Einbau ins Luftfiltergehäuse an Ford-Fahrzeugen als Teil der Ansaugluftvorwärmungs-Steuerung, [521].

In Bild III. 2-20 ist eine andere Variante des "override"-Prinzips gezeigt, wie sie ebenfalls von Ford verwendet wurde. Hier saß der Vakuummotor im Luftfiltergehäuse ("separate override") und ließ bei Vollastbeschleunigungen zusätzliche Luft aus dem Motorraum einströmen. Die Warmluftklappe im Luftfilterschnorchel bewegte sich also unabhängig vom Vakuummotor nur vom Thermostat gesteuert.

Auch Daimler-Benz setzte ein Luftvorwärmssystem nach dem Prinzip der temperatur- und lastabhängigen Steuerung (wie zuvor bei AMC beschrieben) ein. In

Bild III. 2-21 ist die entsprechende Ausführungsform am Mercedes-Benz 4-Zyl. Vergasermotor von Modelljahr 1977 dargestellt.



**Bild III.2-21:** Aufbau eines temperatur- und lastabhängig gesteuerten Systems zur Ansaugluftvorwärmung am Mercedes-Benz 2.3 l/4-Zyl.-Vergasermotoren des US-Modelljahres 1977, nach [523].

### 2.3.2 Maßnahmen an Vergasersystemen

Die an Vergasersystemen in enger Zusammenarbeit zwischen Zulieferindustrie und Automobilherstellern durchgeführten Maßnahmen zur Emissionskontrolle verliefen im Aufwand parallel zu den sich ständig verschärfenden Umweltschutzgesetzen. Sie begannen Mitte der 60er Jahre mit einfachem Abmagern zur HC- und CO-Absenkung und werden voraussichtlich Mitte der 80er Jahre mit elektronisch gesteuerten und sogenannten "closed loop"-Systemen in der Lage sein, in Verbindung mit inner- und nachmotorischen Maßnahmen die schärfsten Emissionsgrenzwerte einzuhalten. In Bild III. 2-22 ist dieser emissionskontrollbezogene Werdegang der Vergasertechnik zusammengefaßt.

Bei der nachfolgenden Darstellung und Diskussion dieser Entwicklungsschritte werden Maßnahmen zur Verbesserung von Leerlauf und Warmlauf etwas detaillierter behandelt, da diesen Betriebsbereichen im Abgastest entscheidende Bedeutung hinsichtlich einer Grenzwertbefreiung zukommt. Dies gilt in ganz besonderem Maße für Abgastests,

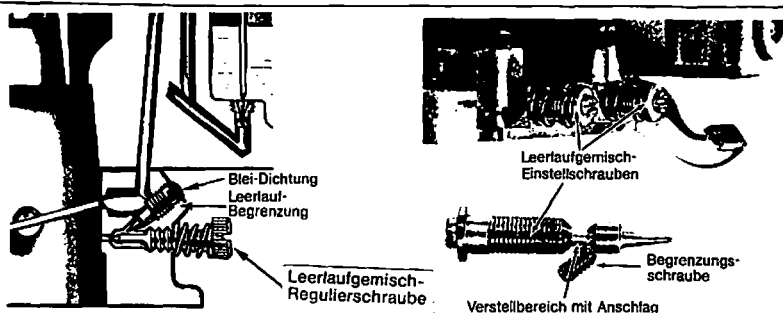
Konventionelle Vergasertechnologie (1965–1975) <sup>1)</sup>		Neuentwicklungen (ab 1982) <sup>2)</sup>
Konstruktionsverbesserungen	Betriebsverbesserungen	Konstruktions- und Betriebsverbesserungen
<b>1. Zur Senkung von Verdunstungs-Emissionen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abdichten von Wellendurchgängen</li> <li>- Abdichten von Gemischeinstellschrauben</li> <li>- Umstellung auf Innenbelüftung</li> </ul> <b>2. Zur Senkung von Abgas-Emissionen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einengung von Fertigungstoleranzen</li> <li>- Feiner dosierbare Einstellvorrichtungen</li> <li>- Verstellbegrenzungen</li> <li>- Bohrungskalibrierungen</li> <li>- Strengere Kontrolle</li> <li>- Absenkung des Kraftstoff/Luft-Verhältnisses</li> </ul>	<b>1. Zur Abgas-Emissionssenkung im Schiebetrrieb</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrische oder pneumatische „Dashpots“</li> <li>- Abschaltung des Leerlaufmassenstroms</li> <li>- Zugabe von Luft</li> <li>- Zugabe von Gemisch</li> </ul> <b>2. Zur Abgas-Emissionssenkung im Warmlauf und Normalbetrieb</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- elektrisch-, wasser- oder abgas-beheizter Choke</li> <li>- Zweistufen-Heizungen für Choke</li> <li>- Vergaserbeheizung</li> <li>- Temperaturabhängige Gemisch-zuführung</li> <li>- zentrale Leerlaufgemischeinstellung</li> <li>- Anpassung an Höhenbedingungen</li> </ul>	<b>1. Vergaser selbst</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elektronische Verarbeitung von Meßgrößen wie Drehzahl, Temperatur, Drosselklappenwinkel</li> </ul> <b>2. Vergaser als Bestandteil eines Emissionskontrollsystems mit nachmotorischen Maßnahmen <sup>3)</sup></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\lambda</math>-Regelung mit Kraftstoff-Bypass</li> <li>- <math>\lambda</math>-Regelung mit Luft-Bypass</li> </ul> <small>1) unter dem Gesichtspunkt der Emissionskontrolle  2) praktischer Einsatz geschätzt  3) in Verbindung mit O<sub>2</sub>-Sonde im Abgasstrom und Drehweg-Katalysator</small>

**Bild III.2-22:** Entwicklungsschritte der Vergasertechnologie unter dem Gesichtspunkt der Emissionskontrolle.

die nach einem Fahrzyklus durchgeführt werden, dessen Geschwindigkeitsverlauf niedriger als der des LA 4-Zyklus liegt.

### 2.3.2.1 Verbesserung von Gemischeinstellbarkeit und -konstanz im Leerlauf

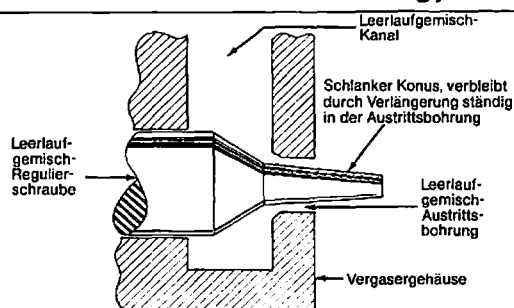
Am Anfang der zur Emissionsabsenkung vorgenommenen Verbesserungen an Vergasersystemen galt es zunächst einmal, Fehlermöglichkeiten besonders bei der Gemischeinstellung



**Bild III.2-23:** Zwei Ausführungsformen „interner“ Maximalbegrenzung des Leerlauf-CO-Gehaltes im Abgas, [524].

mischeinstellschraube verhindern.

Durch die in Bild III. 2-24 dargestellte Einführung schlanker Konen gelang einerseits eine bessere Auflösung, d. h. feiner dosierbare Einstellung des Leerlaufgemisches, andererseits wurde durch ständiges Ver-

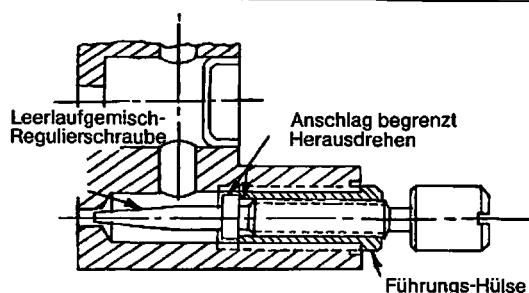


**Bild III.2-24:** Verbesserung der Leerlauf-Einstellbarkeit durch schlanken Konus (mit Maximal-Begrenzung des Leerlauf-CO-Gehaltes durch ständiges Verbleiben des Konus in der Gemischaustrittsbohrung), [524].

durch konstruktive Maßnahmen zu verringern. In Bild III. 2-23 sind zwei "interne" Lösungen zur Maximalbegrenzung des Leerlauf-CO gezeigt. Als "externe" Einstellbegrenzer finden Plastikkappen Verwendung, die eine Zugänglichkeit der Ge-

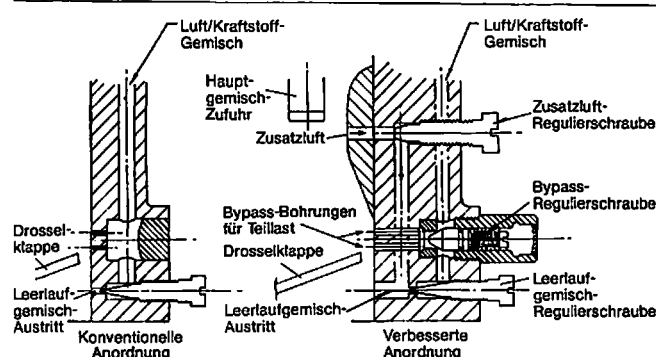
mischaustrittskanal erreicht.

Weitere Maßnahmen zur Einstellgenauigkeitsverbesserung waren die Einführung feinerer Gewinde, wie z. B. an der Leerlaufgemischregulierschraube des Zenith 35/40-INAT Vergasers am Mercedes-Benz



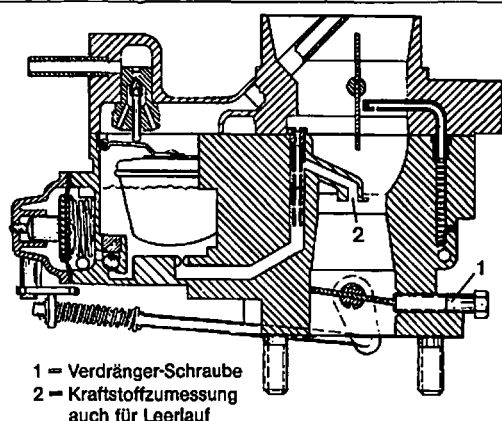
**Bild III.2-25:** Verbesserung der Leerlauf-Einstellbarkeit durch Führen der Gemischeinstellschraube in spezieller Hülse (mit Maximalbegrenzung des Leerlauf-CO-Gehaltes) am Vergaser eines Saab-Motors, [525].

Maßnahmen zur Mischungsverbesserung eingeführt, wie in Bild III. 2-26 gezeigt. Durch einen zusätzlichen Luftkanal vom Venturi her und zurückverlegte Gemischaustrittsbohrung werden Leerlaufgemisch und Zusatzluft intensiver vermischt. Da die Stellung der



**Bild III.2-26:** Leerlauf-System mit Zusatzluftversorgung ohne Veränderung der Drosselklappenposition und damit besserer Zerstäubung des Kraftstoffes (hohe Strömungsgeschwindigkeit am Ort der Zumessung bleibt erhalten), [526].

Ein solcher Vergaser ist in Bild III. 2-27 gezeigt. Als einziger möglicher Fehler kann bei diesem System eine Veränderung der Leerlaufdrehzahl eintreten, Drehzahländerung durch Anstellen der Drosselklappe kann je-



**Bild III.2-27:** Vergaser ohne konventionelles Leerlaufsystem zur Vermeidung von Leerlaufgemisch-Veränderungen bei Drosselklappenbewegung, nach [527].

dochter durch Anstellen der Drosselklappe kann jedoch nicht zu nennenswerten CO-Veränderungen im Abgas führen [527].

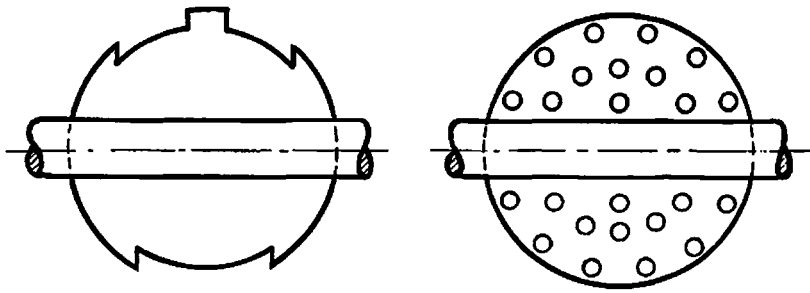
6-Zyl. Motor der Modelljahre 1968/69 oder das Führen der Leerlaufgemischregulierschraube in einer speziellen Büchse, wie es in Bild III. 2-25 am Beispiel des Vergasers für einen Saab-Motor, hier zugleich mit einer Minimalbegrenzung (Einstellschrauben-Anschlag), gezeigt ist.

Eine bessere und im Sinne der Emissionskontrolle möglichst magere Leerlaufgemischeinstellung kann durch Gestaltung der Leerlaufgemischaustrittsbohrung erreicht werden. Neben kalibrierten Bohrungen wurden

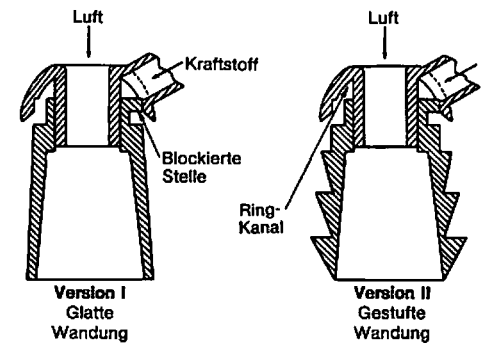
Drosselklappe hierzu nicht verändert werden muß, sind auch Bohrungen zur Abnahme von Steuerunterdruck für Zündzeitpunktverstellmaßnahmen bei diesen sogenannten Umluft-Systemen nicht beeinflusst.

Ein anderer interessanter Versuch galt dem völligen Vermeiden eines normalen Leerlaufsystems. Das Venturi der ersten Stufe war hierbei so eng, daß die für den Leerlauf benötigte Kraftstoffmenge aus dem Hauptdüsensystem abgesaugt werden konnte.

Statt Drosselklappenanhebung wurden auch die in Bild III. 2-28 gezeigten geschlitzten oder gelochten Drosselklappen in Verbindung mit der aus Bild III. 2-27 ersichtlichen Verdrängerschraube zur Leerlaufdrehzahl-Veränderung benutzt. Die Gesamtfläche des fehlenden Drosselklappenmaterials war etwas kleiner als zum Erreichen der gewünschten Leerlaufdrehzahl nötig, so daß der fehlende Querschnitt durch Verdrehen der Verdrängerschraube bereitgestellt wurde. Besser noch als die Schlitze bewährten sich - wie in [528] angegeben - die Löcher zur gleichmäßigeren Aufbereitung des Leerlaufgemisches.



**Bild III.2-28:** Verwendung geschlitzter oder gelochter Drosselklappen in einem Vergaser ohne konventionelles Leerlaufsystem, bei dem das Leerlaufgemisch trotz Drosselklappenbewegung konstant gehalten wird. Die Verstellung der Leerlaufdrehzahl erfolgt hierbei mittels einer „Verdrängerschraube“ im Umflutsystem, nach [528].



**Bild III.2-29:** Verbesserung der Gemischaufbereitung durch „Abreißkanten“ am Vorzerstäuber, [529].

Obwohl nicht direkt zu der in diesem Abschnitt besprochenen Verbesserung der Leerlaufgemischaufbereitung gehörend, sei ein Versuch zur Gemischaufbereitungsverbesserung am Hauptdüsensystem ergänzt, dessen Prinzip immer wieder bei Fragen zur Gemischaufbereitung auftaucht (siehe dazu auch Kap. 2.3.4.1 "fuel deflector"). Es ist der Versuch, die Zerstäubung des zugeführten Kraftstoffes und damit die HC- und CO-Emissionen zu verbessern, was z. B. am Mischrohr durch die in Bild III. 2-29 dargestellte gezahnte Ausführung gelang.

#### 2.3.2.2 Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl

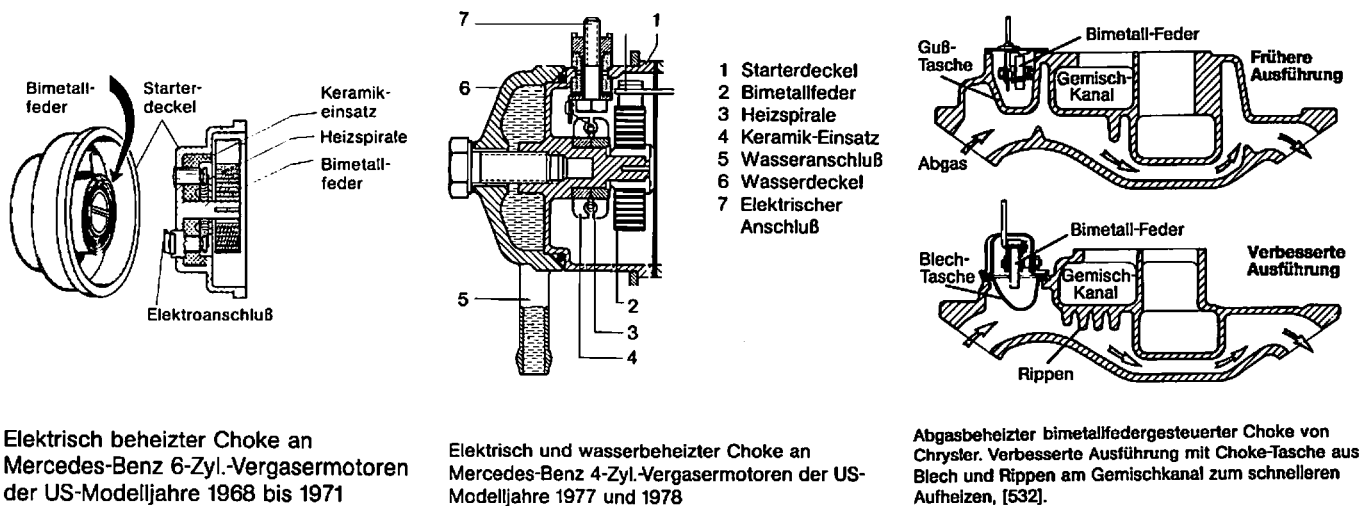
Besonders bei Fahrzeugen mit automatischem Getriebe finden Vorrichtungen zur Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl Verwendung. Generell fällt die Motordrehzahl bei zusätzlicher Belastung wie z. B. durch Einschalten der Klimaanlage oder Betätigen der Servolenkung mehr oder weniger stark ab, wodurch meist CO- und HC-Emissionen ansteigen. Dies kann durch entsprechend angesteuerte pneumatisch oder elektromagnetisch wirkende Drosselklappenansteller verhindert werden. Sie wirken meist gleichzeitig zur Drosselklappenanhebung im Schiebetrieb und sind daher in Form und Montage identisch mit den in Kap. 2.3.2.4 dargestellten Vorrichtungen.

#### 2.3.2.3 Optimierung des Warmlaufs

Von ganz entscheidender Bedeutung für das Bestehen eines Abgastestes sind die Emissionen während der ersten 1 bis 5 Minuten nach dem Motorkaltstart. Daher galt der Choke-Auslegung und -Abregelung besondere Aufmerksamkeit. Die system-inhärenten Unsicherheiten bezüglich der vom Hersteller spezifizierten Bedienung bei einem Handchoke führten z. B. bei Daimler-Benz dazu, schon zu Beginn der Emissionskontrolle an Fahrzeugen mit Automatik-Getriebe nur noch vollautomatische Choke-Vorrichtungen einzusetzen (nur am Anfang des Modelljahrs 1968 war noch am 4-Zyl. Motor des Mercedes-Benz 200 ein PDSI 38 - Vergaser mit Handchoke eingesetzt).

Die Aussteuerung von Choke-Klappen kann grundsätzlich durch Beheizung mit Kühlwasser, Abgas oder Strom oder durch eine Kombination dieser Größen erfolgen. In Bild III. 2-30 sind diese Möglichkeiten an einigen von verschiedenen Herstellern ausgeführten Anlagen veranschaulicht.





Elektrisch beheizter Choke an Mercedes-Benz 6-Zyl.-Vergasermotoren der US-Modelljahre 1968 bis 1971

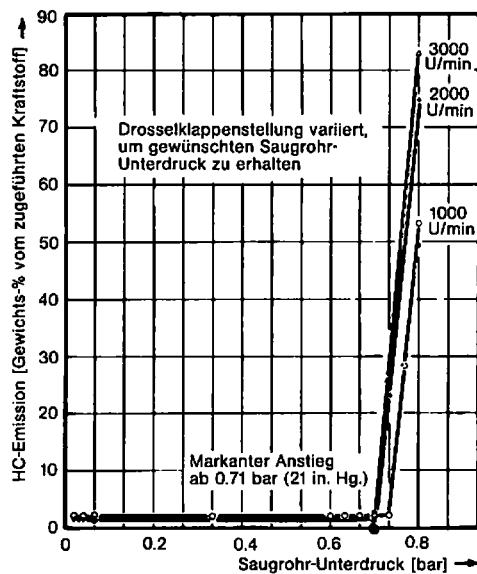
Elektrisch und wasserbeheizter Choke an Mercedes-Benz 4-Zyl.-Vergasermotoren der US-Modelljahre 1977 und 1978

**Bild III.2-30:** Verschiedene Ausführungsformen der Aussteuerung von Choke-Systemen bei Daimler-Benz und Chrysler, [530 bis 532].

Bei allen in diesem Bild dargestellten Formen der Choke-Auslegung war zu beachten, daß die Forderung nach einem noch akzeptablen Fahrverhalten im Motorwarmlauf die Grenze für Abmagerungs- und Schnellausregelungsbemühungen darstellte.

#### 2.3.2.4 Eingriffe in den Schiebetrieb

Von den Bemühungen zur Senkung der Kohlenwasserstoffemissionen sei an dieser Stelle die für Maßnahmen am Vergaser vielseitig variierte Möglichkeit des Eingreifens in den Schiebetrieb detailliert betrachtet.



**Bild III.2-31:** Abhängigkeit der Emission unverbrannter Kohlenwasserstoffe vom Saugrohr-Unterdruck, [533].

Saugrohrwandungen abdampft und das Gemisch überfettet {535}.

Da größere Restgasmasse, d. h. Unterdrücke über 0.71 bar, nur im Schiebetrieb vorkommen, war es der Zweck der nachfolgend beschriebenen Maßnahmen, diese Unterdrücke abzubauen und durch sonstige Vorkehrungen zündfähiges Gemisch auch im Schiebetrieb zu erhalten. Eine Übersicht der bekanntesten zu diesem Zweck angewendeten Verfahren ist in Bild III.2-32 gegeben.

### 1. Systeme zum Abbau des Saugrohrunterdrucks durch Luftzugabe

- Langsam oder schnell ansprechende Drosselklappen-Schließdämpfer
- Flatterventil in Drosselklappe
- Elektrisch oder pneumatisch gesteuerte Schubluftventile

### 2. Systeme zur Vermeidung von Kraftstoffzufuhr

- Rücksaugung des Leerlauf-Kraftstoffmassenstroms
- Abschaltung des Leerlauf-Kraftstoffmassenstroms durch Überdrehen der Drosselklappe
- Abschaltung des Leerlauf-Kraftstoffmassenstroms durch Öffnen einer Nebenluftbohrung
- Abschalten des Leerlauf-Kraftstoffmassenstroms durch Elektromagnetventil

### 3. Systeme zur Zuführung/Erhaltung brennfähigen Gemisches

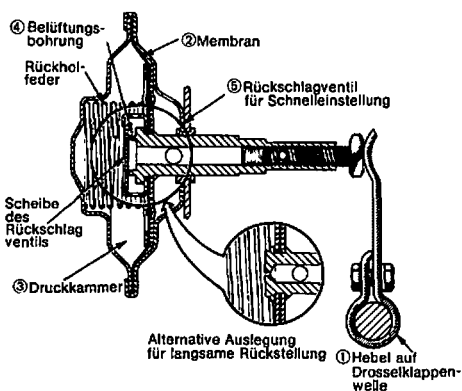
- Gemischumleitung hinter die Drosselklappe
- Pneumatische oder elektrische Drosselklappenanhebung

Die ersten umfassenden Arbeiten auf diesem Gebiet der HC-Kontrolle im Schiebetrieb führten schon vor 1957, d. h. etwa 10 Jahre vor dem Einsatz der ersten Gesetze zur HC-Begrenzung im Autoabgas, zu einigen der nachfolgend beschriebenen - auch heute noch gültigen - grundsätzlichen Möglichkeiten.

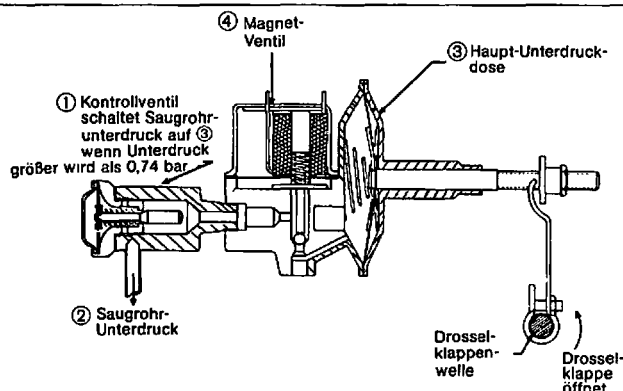
Der "slow throttle return dashpot" ist in Bild III. 2-33 gezeigt. Kurz bevor die Drosselklappe beim Verzögern des Fahrzeuges ganz schließen kann, trifft ein mit der Drosselklappe verbundener Hebel (1) auf den Betätigungs-

**Bild III.2-32:** Möglichkeiten zur Senkung von HC- und CO-Emissionen im Abgas durch Eingriffe in den Schiebetrieb bei Fahrzeugen mit Vergasermotoren

stift des "dashpot". Dieser ist an einer Membran (2) befestigt, hinter der sich Luft oder eine Flüssigkeit befindet (3), die durch eine Bohrung (4) beim Abbremsen



**Bild III.2-33:** Der „Slow Throttle Return Dashpot“ zur Vermeidung des Anstiegs unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebetrieb, [536].



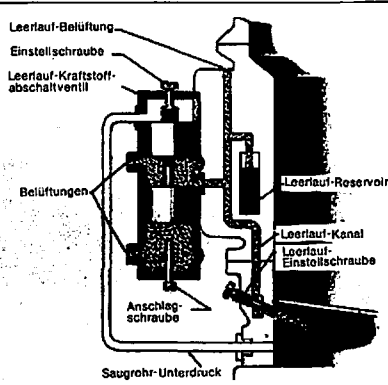
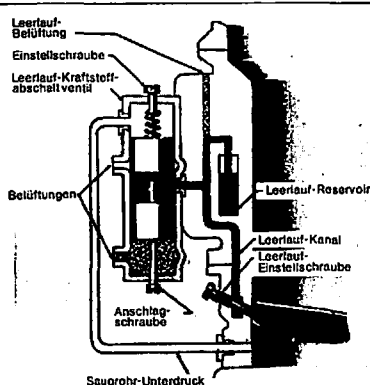
**Bild III.2-34:** Der „Vacuum Control Throttle Opener“ zur Vermeidung des Anstiegs unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebetrieb, [537].

der Drosselklappe in den zweiten Raum überströmt. Durch ein Rückschlagventil (5) kann man den "dashpot" beim Öffnen der Drosselklappe zum schnellen Zurückziehen in die Ausgangslage bringen ("fast reset type"), was jedoch zu unannehmbarem Fahrverhalten bei langsamem Fahrbetrieb und beim Einparken führte und daher praktisch nicht ausgeführt wurde [536].

Der in Bild III. 2-34 gezeigte "vacuum control throttle opener" stellt im Gegensatz zum obengenannten Schließdämpfer bereits ein "closed loop"-System mit "feed back" dar: er kontrolliert und registriert den Saugrohrunterdruck und paßt sich daher automatisch den motor- und fahrzeugindividuellen Gegebenheiten an. Wie schon in Kap. 2.3.2.2 angedeutet, gehört diese Art zu den Vorrichtungen, die nicht nur das Schließen der Drosselklappe verzögern, sondern die Drosselklappe auch automatisch öffnen, wenn dies erforderlich wird (z. B. beim Einlegen der Fahrstufe bei automatischen Getrieben, bei Einschalten der Klimaanlage oder beim Volleinschlag der Servolenkung).

Das Kontrollventil (1) stellt denjenigen Unterdruck im Gerät her, der notwendig ist, um jede aus Emissionskontrollgründen notwendige Verringerung des Saugrohrunterdruckes zu bewirken. Im Betrieb ist die Membran des Kontrollventils (1) vom Saugrohrunterdruck beaufschlagt. Wenn dieser Unterdruck größer als die Federkraft wird, öffnet das Kontrollventil und läßt Unterdrücke  $> 0,75$  bar auf die Hauptmembran in(3)wirken. Das Elektromagnetventil (4) schaltet das Gerät ab, wenn seine Funktion nicht erwünscht ist (z. B. beim Verzögern im direkten Gang, damit Bremswirkung des Motors erhalten bleibt). Das Teil führte zwar zu deutlichen HC-Senkungen aber auch zu erhöhtem Bremsbelagverschleiß, da es die Bremswirkung des Motors negativ beeinflusste {537}.

Als nächstes wandte man sich daher vom Prinzip der Drosselklappenanstellung ab und untersuchte die Möglichkeiten einer Abschaltung der Kraftstoffzufuhr im Leerlauf.



Eine Ausführung war das sogenannte *"air bleed type fuel shut-off"*, das bei Verzögerungen Luft in das Leerlaufsystem einließ, wodurch kein Kraftstoff mehr aus der Leerlaufdüse herausgesaugt wurde. In Bild III. 2-35 ist die Funktion dieses zuverlässig arbeitenden Systems dargestellt.

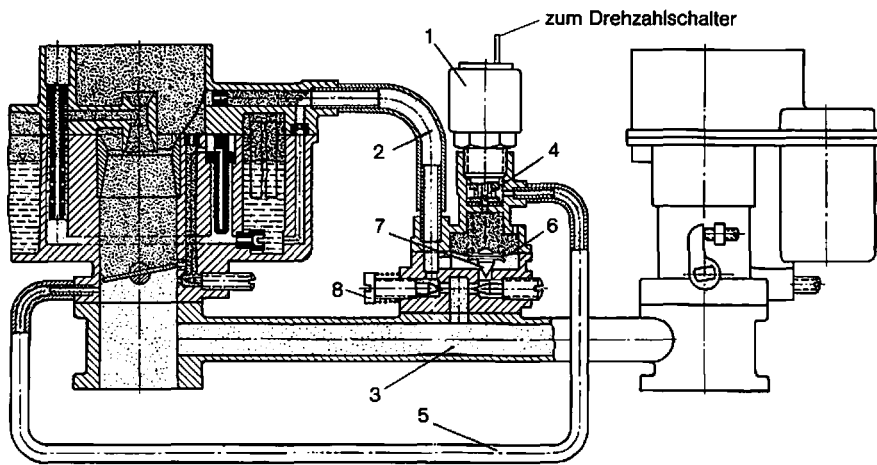
**Bild III.2-35:** Das „Air Bleed Type Fuel Shut-Off“ (Kraftstoffabschaltung durch Luftzugabe) zur Vermeidung des Anstiegs unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebetrieb, [538].

Ein weiteres Verfahren verwendete das sogenannte *"positive idle fuel*

*shut-off valve"*. Hierbei schaltete ein zusätzliches Magnetventil die Zufuhr des Leerlauf-Kraftstoffes (theoretisch) vollständig ab. Das System funktionierte jedoch nicht zufriedenstellend, da Leckmassenausstritte nicht verhindert werden konnten {539}.

Das Übersteuern der Drosselklappe durch einen Unterdruckregler über die normale Leerlaufstellung hinaus wurde ebenfalls untersucht. Hierbei drehte sich die Drosselklappe an der Leerlaufgemisch-Austrittsbohrung vorbei, wodurch diese mit Atmosphärendruck beaufschlagt und kein Kraftstoff mehr herausgesaugt wurde. Das Gefühl, beim Gasgeben zunächst einen Leerweg überwinden zu müssen, ehe Gasannahme erfolgte, und die Gefahr des Drosselklappenklemmens verhinderten jedoch den praktischen Einsatz dieser Möglichkeit {539}.

Weiterhin als unpraktikabel erwies sich der Versuch einer *"back suction"*-Methode, bei der durch Beaufschlagung der Schwimmerkammer mit Unterdruck der Leerlauf-Kraftstoffzufluß abgeschaltet werden sollte. Heftige Blasenbildung in der Schwimmerkammer und Schwierigkeiten bei der Einstellung des notwendigen Unterdruckes schlossen das Verfahren von praktischer Anwendung aus {540}.

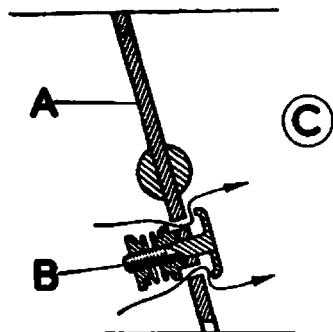


**Bild III.2-36:** Vermeidung des Anstiegs unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebetrieb durch Steuerung von Gemisch-Qualität und Gemisch-Quantität, [541].

Anstelle einer Abschaltung der Kraftstoffzufuhr im Leerlauf wurden aus den oben genannten Gründen Systeme zur Steuerung der Gemischqualität und -quantität im Schub eingesetzt. Ein solches Prinzip ist in Bild III. 2-36 am Beispiel einer Doppelvergaseranlage gezeigt. Um Schub- von Leerlaufbedingungen unterscheiden zu können, steuert das Magnetventil

(1) Gemisch nur bei bestimmten Drehzahlen aus der Gemischzuführungsleitung (2) in die Verbindungsleitung (3). Es öffnet dann die Bohrung (4), wodurch Saugrohrunterdruck (5) auf die Membrane (6) wirken kann. Das Ventil (7) öffnet, und das Gemisch kann über die Verbindung (3) eintreten [542]. Teil (8) ist die Leerlaufgemisch-Regulierschraube.

Zu den bekanntesten Ausführungen von Systemen zur Vermeidung von HC-Spitzen im Schiebetrieb gehört z. B. auch das in Bild III. 2-37 gezeigte "poppet valve" das beim



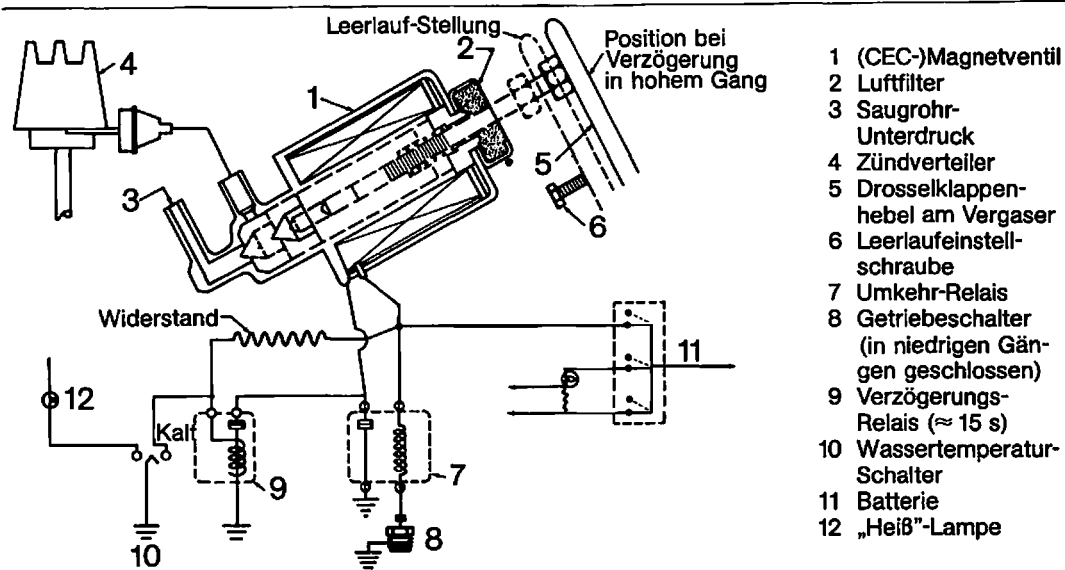
A: Drosselklappe  
B: „Poppet Valve“ (geöffnet)  
C: hoher Saugrohr-Unterdruck

**Bild III.2-37:** Das „Poppet-Valve“ zur Vermeidung des Anstiegs unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebetrieb, [543].

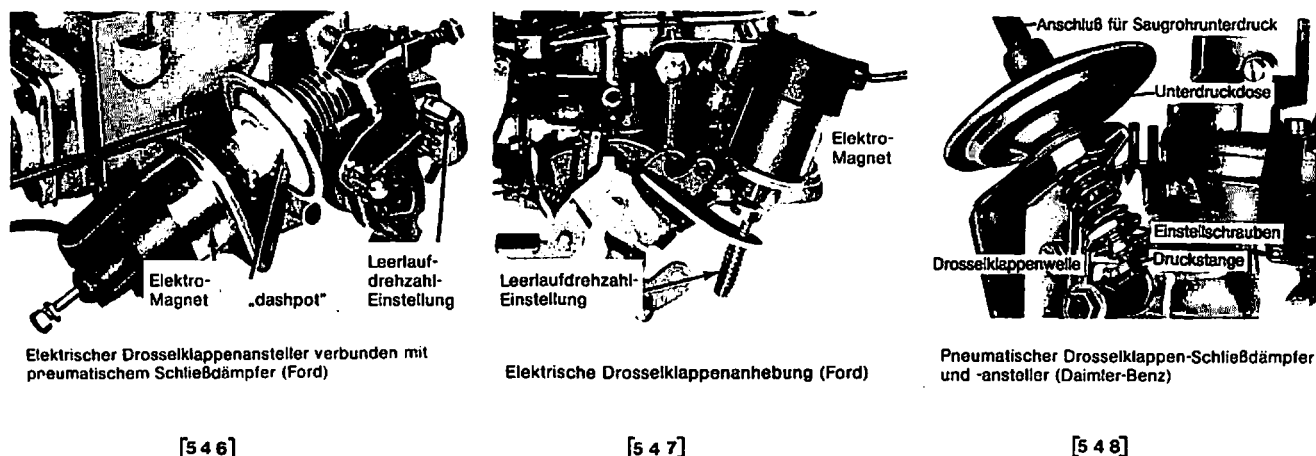
schlagartigen Schließen der Drosselklappe Luft durchläßt. Das dargestellte Ventil war beim Rover 2000 in den Modelljahren 1968 und 1969 eingesetzt [543].

Erwähnenswert sind auch die Kombinationen von Drosselklappenanhebung im Schiebetrieb mit Zündzeitpunktverstellung nach "früh". Ein typischer Vertreter dieser Gruppe ist das von GM ab Modelljahr 1971 eingesetzte CEC-Ventil ("combination emission control valve"). Bild III. 2-38 zeigt Aufbau und Funktion dieses Teils. Außer dem Magnetventil (1) sind das Verzögerungsrelais (9) und der Umkehrschalter (7) von Bedeutung. Der Verzögerungsschalter sorgt bis zu 15 Sekunden nach Drehung des Zündschlüssels für Frühzündung (besserer

Start). Der Umkehrschalter wird bei Fahrzeugen mit automatischem Getriebe benötigt. Er dreht das Signal vom Getriebeschalter (8) um, damit beim Rückwärtsfahren in jedem Fall Frühzündung vorliegt. Der Temperaturschalter (10) ist ein "override", der bei kaltem Motor immer für Frühzündung sorgt [545]. Die Drosselklappenanstellung erfolgt wie bei den Systemen, die nur ein Elektromagnetventil verwenden. Eine solche Ausführung ist in Bild III. 2-39 der an Vergasermotoren sonst meist üblichen pneumatisch gesteuerten Drosselklappenanhebung gegenübergestellt.



**Bild III.2-38:** Vermeiden des Anstiegs der Emissionen unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebepetrieb durch das sogenannte „combination emission control valve“ (CEC-Ventil) von General Motors (Modelljahr 1971), nach [544].

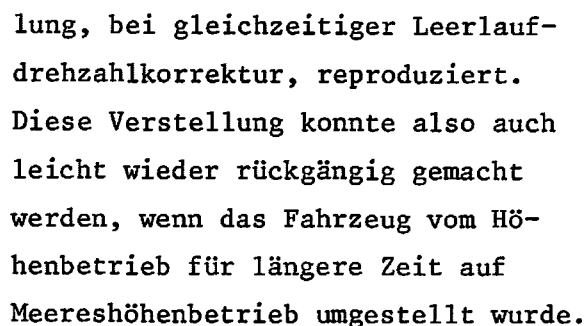


**Bild III.2-39:** Vermeiden des Anstiegs der Emission unverbrannter Kohlenwasserstoffe im Schiebepetrieb durch verschiedene Drosselklappen-Schließdämpfer, die auch als Drosselklappen-Ansteller dienen, [546 bis 548].

### 2.3.2.5 Höhenkorrektur

Im Modelljahr 1977, dem erstmaligen Einsatz von Forderungen zum Nachweis ausreichender Emissionskontrolle auch unter Höhenbedingungen, hatte Daimler-Benz nur noch *einen* Vergasermotor (2.3 l/4-Zyl.Motor) im Verkaufsprogramm. Von den beiden laut Höhengesetzgebung möglichen Alternativen (feste oder kontinuierliche Höhenanpassung) wurde der Weg einer festen (Neu-)Einstellung im Höhengebiet beschritten.

Das Fahrzeug hatte hierzu bei der Auslieferung vom Herstellerwerk eine Grundeinstellung für Meereshöhe. Das in Bild III. 2-40 gezeigte Handrad am Düsenstock des Vergasers stand hierbei auf "NORMAL"-Position, die CO-Einstellung erfolgte auf 0.4 bis 2 Vol. % vor dem Katalysator. Für den Verkauf in Höhenlagen > 4000 ft. ( $\approx 1220$  m) wurde das Handrad auf die "4000 ft"-Position gedreht und die obengenannte CO-Einstel-



### 2.3.2.6 Entwicklung eines Vergasers mit Emissionskontroll-Maßnahmen für Mercedes-Benz 4-Zyl.-Motoren in den USA von Modelljahr 1968 bis 1978

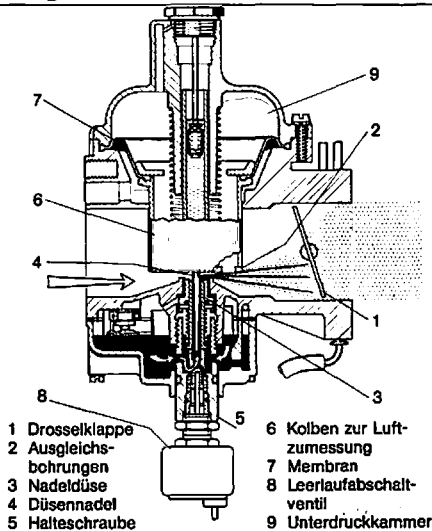
Importeure mußten erstmals ab Modelljahr 1968 für den US-Markt (Kalifornien) gesetzlich Abgasgrenzwerte einhalten. Der am Mercedes-Benz 4-Zyl. Motor in den *Modelljahren 1968 und 1969* in Doppelausführung eingesetzte Vergaser ist in Bild III.2-41 gezeigt.



<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201910020914-0>

dafür, daß der für die Zündzeitpunktverstellung (nach "spät") benötigte Unterdruck nur im Leerlauf vorhanden war. Gleichzeitig wurde die Leerlaufgemisch-Austrittsbohrung kalibriert und die Leerlaufgemischregulierschraube mit einem O-Ring abgedichtet.

Ab *Modelljahr 1970* erfolgte Umstellung von diesen zwei Fallstrom-Fixdüsen-Vergasern auf einen einzigen Flachstrom-Gleichdruck-Vergaser, der zusätzlich eine in Abhängigkeit von der Motordrehzahl gesteuerte Drosselklappenanhebung für den Schiebebetrieb und ein elektromagnetisches Ventil zum Abschalten der Kraftstoffzufuhr im Leerlauf beim Ausschalten des Motors erhielt. Diese Vergaserausführung ist in Bild III. 2-42 dargestellt. Das Gleichdruck-Prinzip (siehe den im Bild gekennzeichneten Raum mit



**Bild III.2-42:** Der Querstrom-Gleichdruckvergaser Solex 175 CDT zum Einsatz in Mercedes-Benz 2.3 1/4-Zyl.-Motoren ab US-Modelljahr 1970, [551].

Gleichdruckverhältnissen) sorgte für stets etwa konstante Luftgeschwindigkeit an der Austrittsbohrung des Kraftstoffes. Die Mengenzumessung erfolgte durch die beim Nadelhub freiwerdenden Querschnitte dieser Bohrung. Die Außenkontur der Düsenadel (Aneinanderreihung verschiedener Konen) ist hierbei für die Gemischzusammensetzung, d. h. für Fahrverhalten und Emissionen von ausschlaggebender Bedeutung und hat im Laufe der Vergaserentwicklung mehrfach Verbesserungen erfahren.

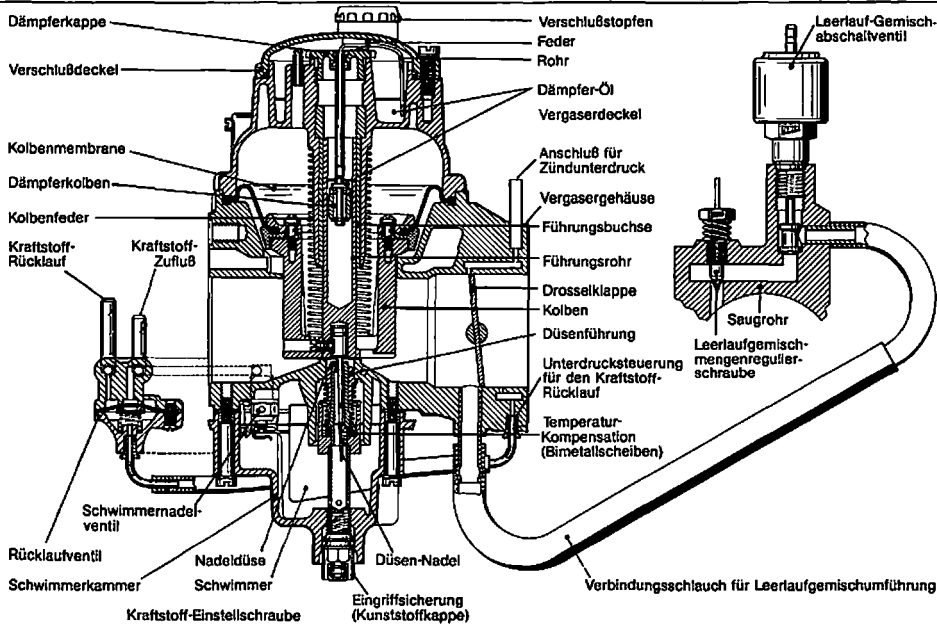
Außer Verbesserungen der Nadelkontur erhielt der neue Vergaser ab *Modelljahr 1972* spezielle Maßnahmen am Choke (kleinere Bohrungen im Startschieber, Starterdeckel ab Vergaser-Herstellerwerk vorgespannt), die einen emis-

sionsärmeren Warmlauf ermöglichten. Ab *Modelljahr 1973* wurde zur besseren Zuordnung der Gemischaufbereitung an den jeweiligen Motorbetriebszustand – die Drosselklappen-schubanhebung ergänzend zur bereits vorhandenen Abhängigkeit von der Motordrehzahl über die Motoröltemperatur gesteuert. Eine Unterdruck-Entnahmestelle wurde zur Steuerung der in diesem Modelljahr erstmals verwendeten Abgasrückführung angebracht.

Die nächsten markanten Veränderungen folgten ab *Modelljahr 1975*. Zu diesem Zeitpunkt erhielt der Vergaser ein Schwimmerkammerbelüftungsventil und wegen der gleichzeitig eingeführten Umstellung der Speicherung für Tankverdunstungsgase (Übergang vom Kurbelgehäuse-Speichersystem auf Speicherung in einem Aktivkohlebehälter) wurde ein Anschluß zur Absaugung der im Aktivkohlekanister gespeicherten Gase vorgesehen. Darüber hinaus konnte die bisher verwendete Startanreicherung entfallen.

Ab *Modelljahr 1977* wurde dann für die Leerlauf-Einstellung das sogenannte "Umluftsystem" eingeführt. Diese weitere Anpassung an die verschärften Emissionskontrollbestimmungen sicherten einerseits, daß ein bestimmter CO-Höchstwert im Leerlauf-Abgas nicht überschritten werden konnte, und daß andererseits eine zu starke Abmagerung des Gemisches vermieden wurde. Die Gemischzuführung im Leerlauf erfolgt beim Umluftsystem zum Teil unter Umgehung der Drosselklappe direkt in das Saugrohr. Die Leerlaufgemisch-Regulierschraube ermöglicht hierbei die Regulierung der Leerlaufdrehzahl ohne

Veränderung des Drosselklappenwinkels. Außerdem war diese Schraube (früher am Düsenstock unter dem Vergaser) jetzt leicht zugänglich von oben in das Saugrohr eingeschraubt. Bild III. 2-43



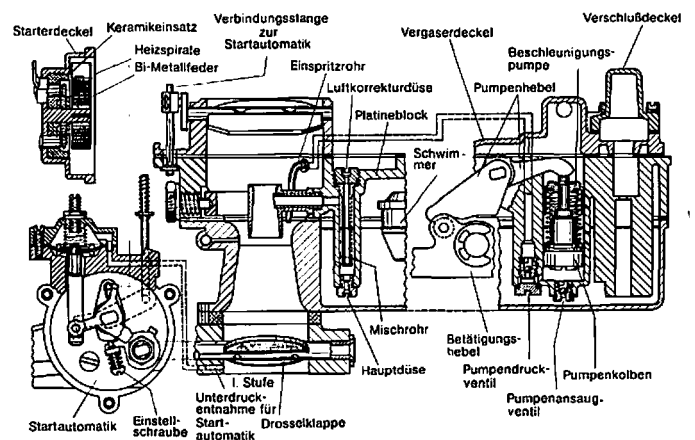
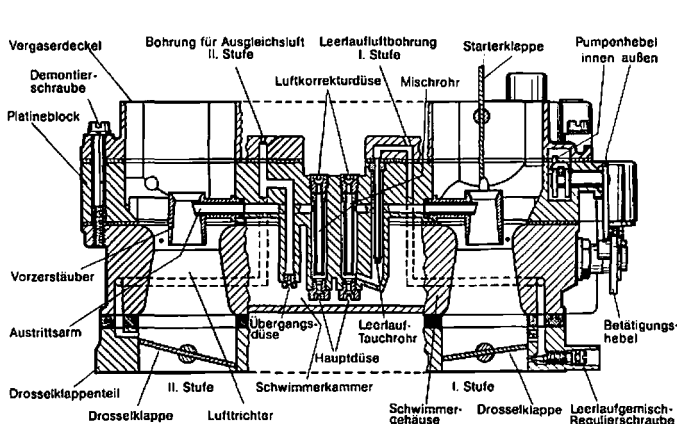
schraubt. Bild III. 2-43 zeigt diese Anordnung. Wegen der für Modelljahr 1977 erstmals gültig gewordenen Emissionsgrenzwerte für Gebiete in Höhenlagen erhielt der Vergaser zusätzlich eine Vorrichtung zur manuellen Anpassung der Gemischeinstellung an Höhenbedingungen, die unter Punkt 2.3.2.5 in ihrer Funktion

**Bild III.2-43:** Der ab Modelljahr 1977 am Mercedes-Benz 2,3 l/4-Zyl.-Motor eingesetzte Quersstrom-Gleichdruckvergaser mit Umluftsystem (Solex 175 CDTU), [552].

Im Modelljahr 1978 wurde zur weiteren Emissionsverbesserung im Motorwarmlauf noch ein Temperaturzeitschalter für den Choke eingeführt. Dieses elektrisch beheizte Thermoventil bestand hauptsächlich aus einer Bimetallscheibe und einem PTC ("Positive Temperature Control")-Element und führte bei eingeschalteter Zündung dem Startergemisch nach einer bestimmten Zeit zusätzlich Luft zu. Mit diesen letzten Verbesserungen findet die Entwicklung eines Vergasers - dessen Gleichdruckprinzip als Vorbild für die bei Einspritzmotoren später eingesetzte K-Jetronic angesehen werden kann - ihr Ende, da ab Modelljahr 1979 im Daimler-Benz Verkaufsprogramm für den USA-Markt bis auf weiteres kein 4-Zyl. Vergasermotor mehr vorgesehen wurde.

### 2.3.2.7 Entwicklung eines Vergasers mit Emissionskontroll-Maßnahmen für Mercedes-Benz 6-Zyl.-Motoren in den USA von Modelljahr 1968 bis 1976

Von Modelljahr 1968 bis 1972 wurde an Mercedes-Benz Fahrzeugen mit 6-Zyl. Motor in den USA eine Doppelausführung des in Bild III. 2-44 gezeigten Fallstrom-Fixdüsenver-



**Bild III.2-44:** Der Solex 35-40 INAT Fallstrom-Fixdüsenvergaser der Mercedes-Benz 2,5 l/6-Zyl. Motoren für die US-Modelljahre 1968 bis 1971, [553].

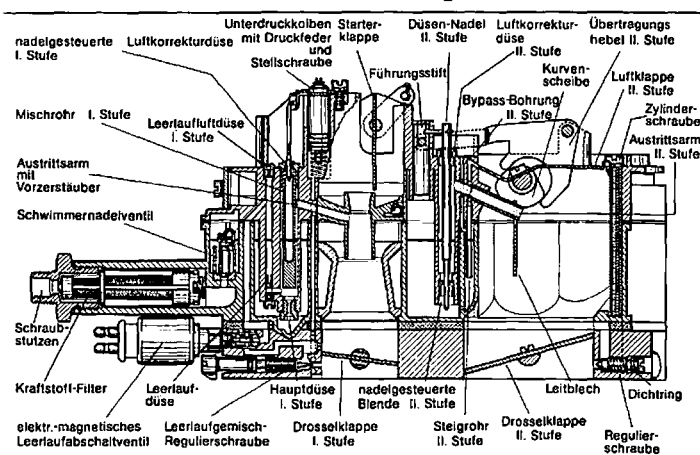


gasers eingesetzt. Gegenüber seinem 1967er – noch "unbehandelten" – Vorgängertyp war jetzt die Austrittsbohrung für das Leerlaufgemisch kalibriert, die Düsenbestückung im Sinne einer Abmagerung verändert sowie die Einstellgenauigkeit der Leerlaufgemisch-Regulierschraube erhöht (Übergang von 0,75- auf 0,50-Gewinde und Umgestaltung des Schraubenendes von einem stumpfen auf einen schlanken Konus). Durch Anbau einer in Abhängigkeit von der Motordrehzahl gesteuerten Drosselklappenanhebung am Vergaser konnte die mit der im Modelljahr 1968 eingeführten MAO ("Manifold Air Oxidation")-Anlage eingesetzte Luftpumpe wieder entfallen.

Ab *Modelljahr 1970* erhielt jeder der beiden obengenannten Vergaser im Leerlauf ein Leerlaufabschaltventil, das Nachlaufen und damit auch HC-Anstiege beim Motorausschalten verhinderte. Der Choke des (in Fahrtrichtung gesehen) hinteren Vergasers wurde durch einen im Kühlwasser befindlichen Temperaturschalter gesteuert, und die Bimetallfeder des Choke wurde weicher gemacht. Die Choke-Maßnahmen wirkten abmagernd und damit HC- und CO-senkend.

Zur Verringerung der freien Oberfläche des in der Schwimmerkammer befindlichen Kraftstoffes, d. h. zur Verringerung der Verdunstung aus dem Schwimmergehäuse, wurde dieses ab *Modelljahr 1972* verkleinert. Eine neue Düsenbestückung wirkte weiter CO- und HC-senkend, und der Entfall des Schwimmerkammerbelüftungsventils verringerte HC-Verdunstungsemissionen in die Atmosphäre. Bei Einschalten der Zündung wurden zwecks schnelleren Ausregelns die Choke-Bimetallfedern vom vorderen und hinteren Vergaser simultan beheizt. Die Chokeklappen-Wellendurchgänge im Vergasergehäuse wurden abgedichtet.

*Modelljahr 1973* brachte für den 6-Zyl. Motor die Umstellung von (zwei) Fixdüsen- auf (einen) Gleichdruck-Vergaser. Die neue Ausführung ist in Bild III. 2-45 gezeigt,

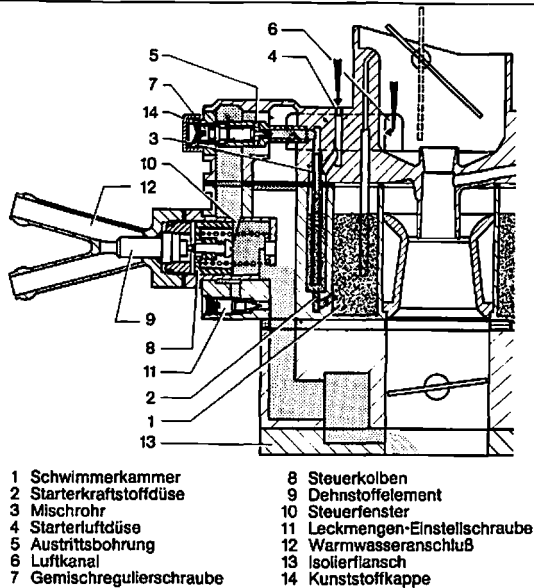


wobei das Gleichdruckverhalten durch die variablen Querschnitte der II. Stufe realisiert wurde. Der Vergaser war darüber hinaus mit einem Unterdruckanschluß zur Steuerung des Abgasrückführungsventils ausgerüstet. Die bisher von der Motordrehzahl abhängige Drosselklappenanhebung wurde ab Modelljahr 1973 über die Motoröltemperatur gesteuert. Im *Modell- jahr 1974* erhielt die für Kalifornien be- stimmte Ausführung wegen der schärferen

**Bild III.2-45:** Der Solex 4A1 Fallstrom-Gleichdruckvergaser (2. Stufe) der Mercedes-Benz 2.8 1/6-Zyl. Motoren ab US-Modelljahr 1973, [554].

Emissionsgrenzwerte gegenüber den restlichen 49 Staaten der USA ein unterdruckgesteu- ertes Schwimmerkammerbelüftungsventil für Innenbelüftung und einen Anschluß zum Ab- saugen der in einem Aktivkohlekanister gespeicherten Tankverdunstungsgase. Weitere Verbesserungen erfolgten im *Modelljahr 1975*, indem der Starterdeckel (Choke) eine 2-Phasen Beheizung erhielt. Damit wurde bei sehr kaltem Motor langsamer beheizt als

bei normalen Starttemperaturen. Ein weiterer Anschluß wurde erforderlich, um den für das Abgasrückführungssystem benötigten Unterdruck-Verstärker ("vacuum booster") mit



Unterdruck versehen zu können. Eine wesentliche Neuerung waren der sogenannte "TN (Temperatur Nebenschluß)-Starter" und das zentrale Leerlaufsystem. Der nur von der Kühlwassertemperatur beeinflusste TN-Starter stellte ein weiteres Element zur optimalen Anpassung des Gemisches an den Motorwarmlauf dar und bildete zusammen mit der Starterklappe (die von der Bimetallfeder in Abhängigkeit von der Kühlwassertemperatur und einer elektrischen Beheizung gesteuert wurde) und der vom Unterdruck geregelten Drosselklappenanhebung die vollautomatische Starteinrichtung. Beim Kaltstart wurde über den TN-Starter, dessen Dehnstoffelement mit steigender Kühlwassertemperatur abregelt,

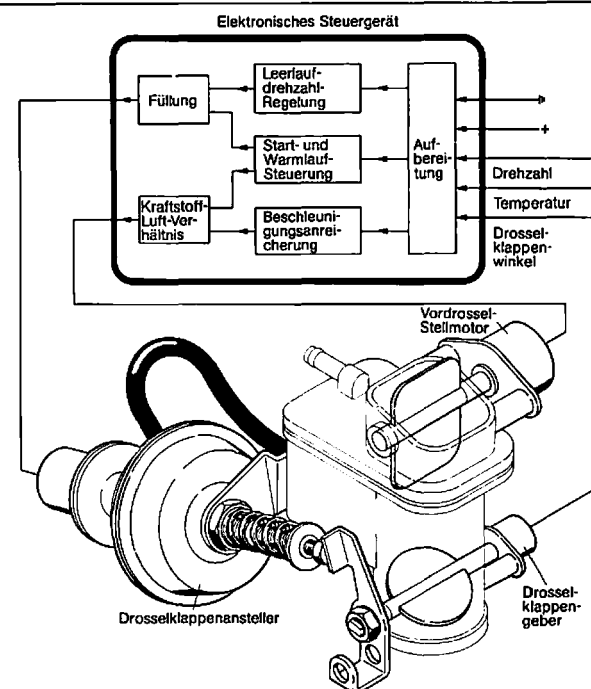
**Bild III.2-46:** Der Temperatur-Nebenschluß-(TN)-Starter des Solex 4A1-Vergasers an Mercedes-Benz 2.8 I/6-Zyl.-Motoren des US-Modelljahres 1975, [555].

kraftstoffreiches Gemisch angesaugt. Diese Gemischzuführung über einen Nebenstrom ist in Bild III. 2-46 gezeigt.

Der Vergaser blieb im Modelljahr 1976 bis auf Maßnahmen am Vorzerstäuber und an der Hauptdüse unverändert. Ab Modelljahr 1977 wurde im Verkaufsprogramm für die USA bis auf weiteres kein 6-Zyl. Vergasermotor mehr vorgesehen.

### 2.3.2.8 Der Vergaser als Bestandteil zukünftiger Emissionskontroll-Systeme

Die weitere Entwicklung von Vergasersystemen zielt auf weitgehenden Einsatz von Elek-



tronik zur Erfassung und Verwertung von Regelgrößen wie Luftdruck, Lufttemperatur, Kühlwassertemperatur, Motordrehzahl etc. bei der Gemischaufbereitung und -zuteilung ab. Eine Prinzipskizze zeigt in Bild III. 2-47 die Einbeziehung der Korrekturfunktionen:

- Leerlaufdrehzahlregelung
- Start- und Warmlaufsteuerung
- Beschleunigungsanreicherung

Das Kernstück des Steuergerätes ist ein fest programmierter Mikrocomputer. Die obengenannten Bemühungen stehen gleichberechtigt unter dem Zeichen der Emissionskontrolle und der Senkung des Kraftstoffverbrauches.

Seitdem nachgewiesen werden konnte, daß nicht nur Einspritzanlagen, sondern auch Vergasersy-

**Bild III.2-47:** Schematische Darstellung eines Vergasers mit elektronischer Erfassung und Steuerung von Leerlaufdrehzahl sowie Start-, Warmlauf- und Beschleunigungsanreicherung, [556].

steme mit der sogenannten  $\lambda$ -Regelung (mit  $O_2$ -Sonde im Abgasstrom) betrieben werden können und in Verbindung mit 3-Weg-Katalysatoren funktionieren, befinden sich derartige Systeme in intensiver Entwicklung, wobei z. B. eine Messung der momentanen Abgaszusammensetzung mit schnellstmöglicher Anpassung der der Ansaugluft zugeteilten Kraftstoffmenge angestrebt wird. Je nach Signal von der  $O_2$ -Sonde im Abgas wird ein elektromagnetisches Stellglied am Vergaser angesteuert und so Einfluß auf die vom Vergaser der Ansaugluft zugeteilten Kraftstoffmenge genommen. Dadurch wird im Mittel ein Ansauggemisch von stöchiometrischer Zusammensetzung gebildet.

Die von der Regelung beeinflusste Kraftstoffmenge beträgt nur etwa 10 bis 20 % der insgesamt zugemessenen Menge. Die konventionellen Systeme und die sonstige Arbeitsweise des Vergasers bleiben unverändert. Die Abstimmung des in Bild III. 2-48 gezeigten Systems mit Kraftstoffbypass wird ohne den Regeleingriff auf  $\lambda > 1$  gelegt, so daß zum Erreichen von  $\lambda = 1$  Kraftstoff zugegeben werden muß. Diese vom Regelkreis zuzumes-

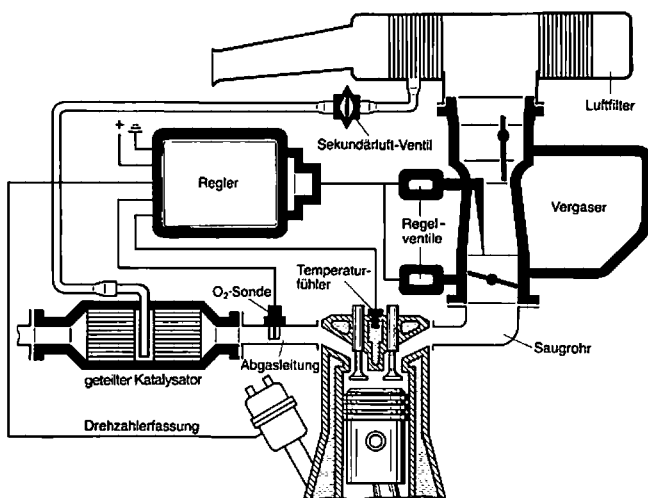


Bild III.2-48: Elektronisch gesteuerter Vergaser mit Kraftstoff-Bypass bei Einsatz in einem „closed loop“-System mit Katalysator und  $O_2$ -Sonde, [557].

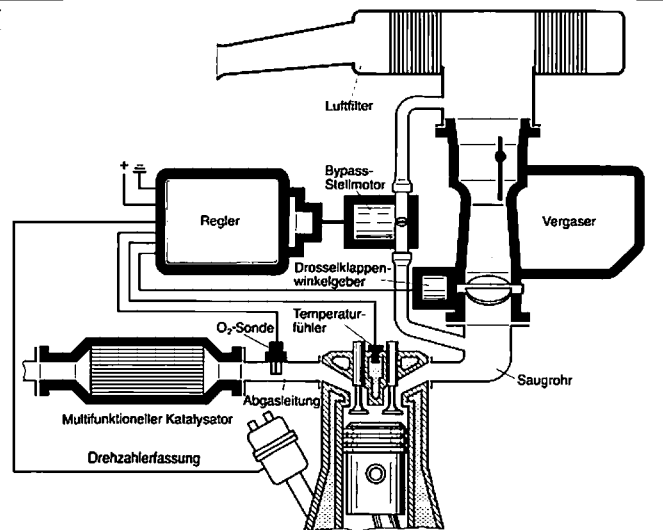


Bild III.2-49: Elektronisch gesteuerter Vergaser mit Luft-Bypass bei Einsatz in einem „closed loop“-System mit Katalysator und  $O_2$ -Sonde, [559].

sende Kraftstoffmenge wird unabhängig von den übrigen Systemen des Vergasers der Schwimmerkammer entnommen und über einen Kraftstoff-Bypass und ein Elektromagnetventil dem Ansaugluftstrom im Vergaser (ins Haupt- oder Leerlaufsystem) zugegeben [558].

Eine  $\lambda$ -Regelung verteuert zwar die Vergaseranlage und kann (wegen der "bleiempfindlichen"  $O_2$ -Sonde) bisher auch nur bei Verwendung bleifreien Kraftstoffes eingesetzt werden, sie bietet aber nach [558] wesentliche Vorteile wie:

- automatische Korrektur des Mischungsverhältnisses bei Streuungen von Vergaser und Motor innerhalb bestimmter Grenzen.
- automatische Korrektur des Einflusses von Luftdruck und Lufttemperatur auf das Mischungsverhältnis in bestimmten Grenzen
- gute Diagnosemöglichkeit für den Vergaser
- günstigeren Kraftstoffverbrauch
- minimale HC-, CO- und  $NO_x$ -Emissionen in Verbindung mit 3-Weg-Katalysator

In Bild III. 2-49 ist das alternative Prinzip eines mittels Luft-Bypass auf  $\lambda = 1$  geregelten Vergasers mit multifunktionalem Katalysator skizziert.

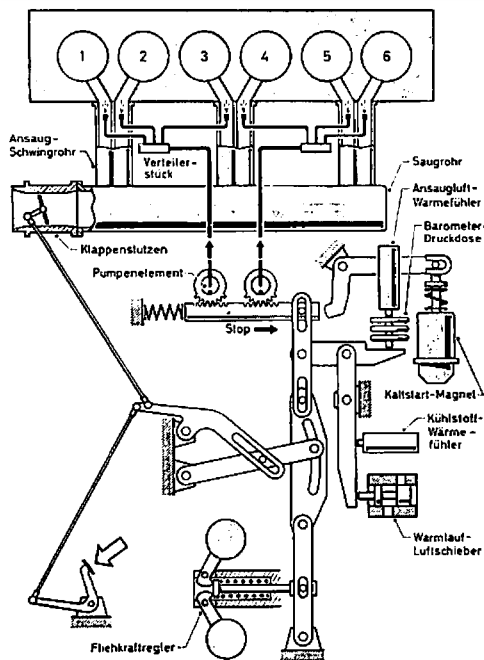
### 2.3.3 Maßnahmen an Einspritzsystemen am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw für den USA-Markt

Da Daimler-Benz zu Beginn der Emissionskontrollgesetzgebung in den USA als einziger Hersteller Motoren mit mechanischer Benzineinspritzung im Verkaufsprogramm anbot, ist eine vergleichende Betrachtung mit Systemen anderer Hersteller – wie beim Kapitel über Vergaseranlagen durchgeführt – hier nicht möglich. Es werden daher die emissionskontrollbezogenen Entwicklungsschritte von Einspritzanlagen nur am Beispiel von Mercedes-Benz Motoren betrachtet.

Bei den aufgrund der (für Nicht-US-Hersteller) erstmals ab Modelljahr 1968 zu beachtenden Emissionsgrenzwerte notwendigen Arbeiten zeigten Einspritzsysteme gegenüber Vergaseranlagen gewisse Vorteile. Die Gemischbildung erfolgt bei Einspritzmotoren erst kurz vor dem Einlaßventil und im Brennraum, wodurch das Problem der Saugrohrwandbenetzung besonders im Kaltstart oder bei plötzlichem Gasgeben wesentlich geringer ist. Das Erreichen einer gleichmäßigen Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder war ebenfalls systembedingt unkomplizierter. Weiterhin waren, wie nachfolgend näher gezeigt, Kraftstoff- und Luftmengenanpassung an den Motorwarmlauf sowie die Beherrschung des Schiebebetriebes leichter möglich als bei den damals existierenden Vergasern. Diese Vorteile galten jedoch bis zum Beginn der Emissionskontrollgesetzgebung nicht als Hauptkriterium bei der vom Automobilhersteller getroffenen Wahl zwischen beiden Systemen. Einspritzanlagen wurden bei Daimler-Benz besonders wegen der in Verbindung mit Schwingsaugrohren gegenüber einem Vergasermotor erzielbaren höheren Leistung (höherer Füllungsgrad) bei sonst gleichen Motordaten sowie Verbrauchsvorteilen durch bessere Gleichverteilung des Gemisches auf die Zylinder und bessere Anpassung des Luft/Kraftstoffverhältnisses über dem gesamten Kennfeld eingesetzt. Bei der nachfolgenden Diskussion über Funktion und emissionskontrollbezogene Eigenheiten von Einspritzanlagen wird sowohl bei Luft- wie auch bei Kraftstoffmessung die Bezeichnung "Menge" verwendet. Da Begriffe wie "Mengenabregelung", "Kraftstoffmengenteiler", "Luftmengenmesser" etc. im allgemeinen Sprachgebrauch üblich sind, sei an dieser Stelle auf eine Verwendung der Bezeichnung Masse / Volumen oder Massenstrom/Volumenstrom verzichtet. Dies ist aus folgendem Grund gerechtfertigt: Weder die in früheren Kapiteln besprochenen Vergaseranlagen noch die hier behandelten Einspritzsysteme können eine exakte Volumen- oder Massenzumessung unter allen Betriebsbedingungen realisieren. Wie leicht aus der Bernoulli-Gleichung hergeleitet werden kann, ist die Auströmgeschwindigkeit unter Schwerkraftbedingungen:  $v = \sqrt{2gh}$  und unter Druckdifferenz mit  $g \cdot h = \frac{\Delta p}{\rho}$ ,  $v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$ . Damit wird der Volumenstrom  $\dot{V} = A \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$  (Austrittsfläche • Ausflußbeiwert • Ausflußgeschwindigkeit), d. h.  $\dot{V} \sim \sqrt{\frac{1}{\rho}}$ . Spräche man also in diesem Zusammenhang von Volumenstrom, so wäre dieser stets mit dem  $\sqrt{\frac{1}{\rho}}$ -Fehler behaftet. Entsprechend ergibt sich für den Massenstrom (mit  $\dot{m} = \dot{V}\rho$ ):  $\dot{m} \sim \sqrt{\rho}$ , d. h. Aussagen über den Massenstrom hätten stets einen  $\sqrt{\rho}$ -Fehler.

### 2.3.3.1 Die mechanische Benzineinspritzung mit Hub-zu-Hub-Förderung von Modelljahr 1968 bis 1972

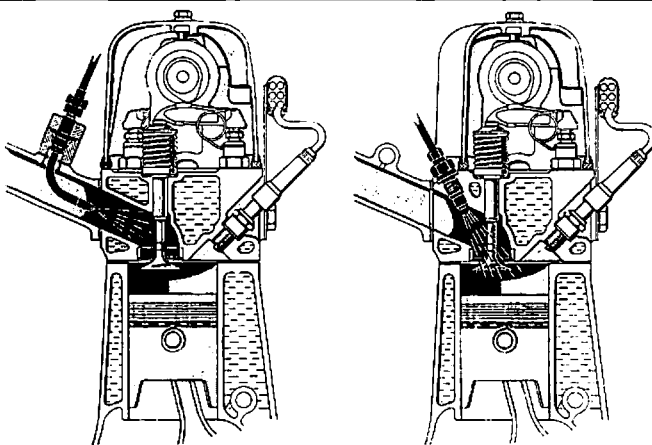
Daimler-Benz setzte erstmals im Jahre 1951 am MB 220 SE eine Einspritzanlage ein, wobei die verwendete 2-Stempel Reiheneinspritzpumpe noch mit einem Kulissenregler, wie



**Bild III.2-50:** Mechanische Bosch-Benzineinspritzung mit 2-Stempel-Reihenpumpe und Fliehkraft-Kulissenregler wie erstmals 1951 am Mercedes-Benz 220 SE eingesetzt, [560].

er in Bild III.2-50 gezeigt ist, arbeitete. Allerdings wies dieser schon die bis zum Produktionsende der mechanischen Benzineinspritzung (Modelljahr 1972) üblichen und im Zusammenhang mit Emissionskontrollmaßnahmen wichtigen Korrekturglieder für Kaltstart, Warmlauf und barometrischen Luftdruck auf. Die von den zwei Pumpenelementen der Einspritzpumpe geförderte Kraftstoffmenge wurde über die in obengenanntem Bild gezeigten Verteilerstücke je einer Dreier-Zylindergruppe zugeführt. Die beim MB 220 SE ausgeführte Einspritzart brachte noch den von den Düsen abgespritzten Kraftstoff im Saugkanal des Zylinderkopfes zum Verdampfen, wie es in Bild III.2-51 zu sehen ist. Die Düsen spritzten je Arbeitsspiel zwei Mal {562}.

Ab Einsatz des 230 SL-Motors im Jahre 1963 wurden die Einspritzdüsen in den Zylinderkopf verlegt. Bild III.2-51 zeigt, wie dadurch der Kraftstoff teilweise am geöffneten Einlaßventil vorbei in den Brennraum spritzte. Der Strahlwinkel betrug 45°, der Abspritzdruck 15 bar. Die Spritzzeiten der Einspritzdüsen waren abhängig von

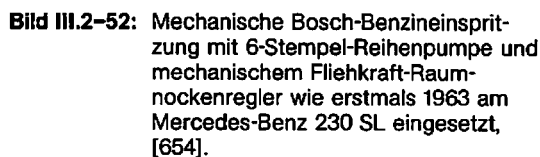


**Bild III.2-51:** Mechanische Bosch-Benzineinspritzung mit Einspritzdüsenanordnung im Saugrohr (erstmals 1951 am Mercedes-Benz 220 SE) und im Zylinderkopf (erstmals am Mercedes-Benz 230 SL), [561].

den Elementen der Einspritzpumpe, deren Druckventilen, den Einspritzleitungen und der Ausführung der Düsen. Die Einspritzung begann kurz nach Öffnungsbeginn der Einlaßventile. Die obengenannte Einspritzart beim Saughub des Motors hatte eine zeitgerechte Kraftstoffförderung zu den einzelnen Zylindern zur Bedingung {562}.

Die bei den Fahrzeugen 300 SL, 300 Sc und 300 D bewährte 6-Stempel-Pumpe von Bosch (Vollastverstellung mit Hilfe von Angleichventilen, Teillastverstellungen pneuma-

tisch) wurde mit der Grundauführung des Reglers der beim 220 SE verwendeten 2-Stempel-Pumpe (Vollastverstellung mit Hilfe von Angleichventilen, Teillastverstellung mechanisch) gekoppelt. Daraus entstand eine neue 6-Stempel-Einspritzpumpe, deren gesamtes Kennfeld vom Fliehkraftregler drehzahlabhängig und vom Fahrpedal über ein Reguliergestänge lastabhängig gesteuert wurde {563}. Bild III.2-52 zeigt den prinzi-

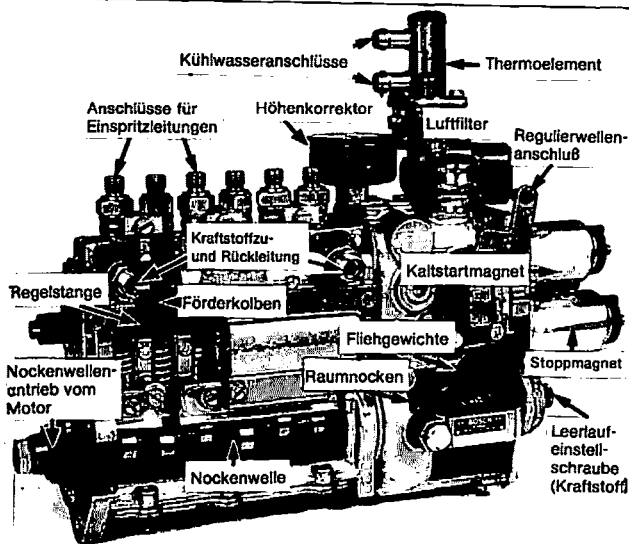


Die Funktion des neuen Reglers sowie die Eingriffspunkte der Korrekturgrößen für Kaltstart, Warmlauf und barometrischen Luftdruck über die Hebelmechanik dieser bis Modelljahr 1972 eingesetzten Einspritzpumpe sind in Bild III.2-53 veranschaulicht. Vollast- und Teillastregulierung erfolgten gleichermaßen über eine Mantellinie des Raumnockens, eine an einem Winkelhebel drehbar gelagerte Tastrolle und einen Umlenkhebel, welcher wiederum mit der Regelstange der Einspritzpumpe verbunden war. Jeder Drosselklappenstellung war eine bestimmte Mantellinie des Raumnockens zugeordnet. Die Verbindung Drosselklappe-Regler erfolgte mittels einer Regulierwelle, von der Gestänge zu Klappenstutzen und Reglerhebel der Einspritzpumpe führten. Das gesamte Einspritzkennfeld war auf der Oberfläche dieses nur 13 mm breiten Raumnockens



- |   |  |    |                        |    |                     |
|---|--|----|------------------------|----|---------------------|
| 1 | Raumnocken   | 10 | Starthebel             | 21 | Umlenkhebel         |
| 2 | Fliehgewicht   | 11 | Betätigungsstange      | 22 | Rollenhebel         |
| 3 | Reglerfedern   | 12 | Magnetschalter         | 23 | Verstellhebel       |
| 4 | Gelenkteil   | 13 | Korrekturhebel         | 24 | Regelstange         |
| 5 | Einstellschraube<br>(weiß, oberes Drehzahlgebiet)              | 14 | Führungsbolzen         | 25 | Verstellhebel       |
| 6 | Teillast-Einstellschraube<br>(schwarz, unteres Drehzahlgebiet) | 15 | Luftfilter             | 26 | Regulierstange      |
| 7 | Leerlauf-Einstellschraube                                      | 16 | Kühlwasser-Wärmefühler | 27 | Regulierwelle       |
| 8 | Tastrolle  | 17 | Wippe                  | 28 | Regulierstange      |
| 9 | Regelstangenkopf   | 18 | Stelze                 | 29 | Drosselklappenhebel |
|   |  | 19 | Führungsbolzen         | 30 | Drosselklappe       |
|   |  | 20 | Höhenkorrektor         | 31 | Klappenstützen      |

das Fahrpedal und das in Bild III.2-54 erkennbare Gestänge gedreht wurde. Hierbei tastete der Rollenhebel die Oberfläche des Raumnockens und damit das gesamte Pumpenkennfeld Punkt für Punkt ab. Der Raumnocken, d. h. das Einspritzkennfeld, mußten aus Emissionskontrollgründen in den Modelljahren 1971/72 sowie nochmals 1972 im Sinne einer Abmagerung geändert werden. Bild III.2-54 zeigt die obenbeschriebene 6-Stempel-Reiheneinspritzpumpe, wie sie in den emissionskontrollierten Fahrzeugen mit 2.8 l Einspritzmotoren von Modelljahr 1968 bis 1972 verwendet wurde.

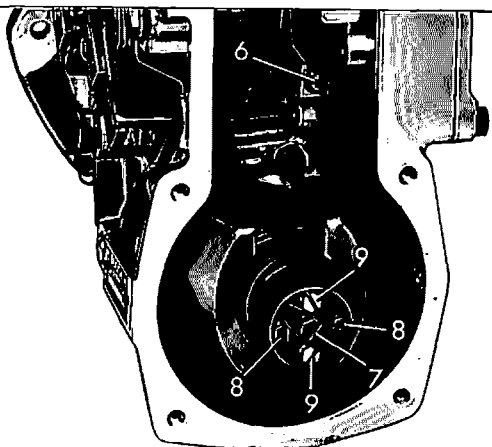


**Bild III.2-54:** Die 6-Stempel-Reihenpumpe der Mercedes-Benz 2,8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren für die US-Modelljahre 1968 bis 1972.

gelangt. Es sollte jedoch bedacht werden, daß nicht primär die Leistungsfähigkeit des technisch hochwertigen mechanischen Einspritzsystems selbst die Grenzen seines Einsatzes bestimmte. Hier war vielmehr die Tatsache ausschlaggebend, daß dieses durchaus am Einzelexemplar optimierbare System die verschiedenen in der Serienproduktion von Motoren und Zündanlagen auftretenden unvermeidlichen Streuungen (wie z. B. Reibleistungsschwankungen, Leckluft, Ablagerungen im Brennraum, Streuung von Steuerzeiten, Streuung von Zündzeitpunkt) bei seiner Kraftstoffzuteilung nicht berücksichtigen konnte [566].

### 2.3.3.2 Verbesserungen von Gemischeinstellbarkeit und -konstanz

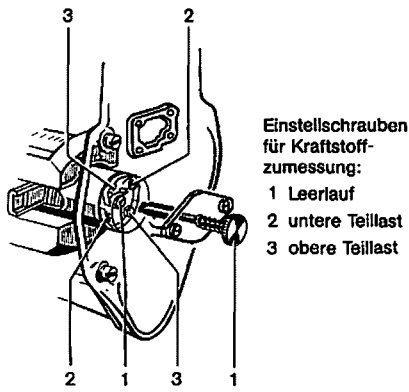
Obwohl bei Einspritzanlagen Undichtheiten (wie beim Vergaser an Drosselklappen- und Chokeyklappenwellen sowie Gemischregulierschraube) nicht vorhanden waren, mußten auch hier Vorkehrungen getroffen werden, um feinere Dosierbarkeit von Luft- und Kraftstoffzuteilung besonders im Leerlauf zu ermöglichen. In Bild III. 2-55 ist der geöffnete



**Bild III.2-55:** Geöffneter Reglerteil der 6-Stempel-Reihen-Einspritzpumpe für Mercedes-Benz 2,8 l/6-Zyl.-Motoren des US-Modelljahres 1972 mit Verstellmöglichkeiten für Leerlauf (7), untere (8) und obere Teillast (9) sowie Vollast (6), [567].

Reglerteil, der im Modelljahr 1970 verwendeten Einspritzpumpe gezeigt. Die vier gekennzeichneten Schrauben ermöglichten ein Anpassen von Vollast (6), Leerlauf (7), unterer (8) und oberer Teillast (9). Hierbei wurde ab Modelljahr 1970 die Rastenverstellung der "Vollastschraube" im Regelstangenkopf (6) verfeinert, um die mit dieser Schraube mögliche Beeinflussung des Einspritzpumpen-Gesamtkennfeldes exakter an die Erfordernisse des Abgastests anpassen zu können. Von den genannten Vorrichtungen war jedoch nur die Leerlaufmengeneinstellung durch die in Bild III. 2-56 gezeigte, als Schraubenzieher

ausgebildete, fest installierte Schraube von außen ohne Demontage sonstiger Teile



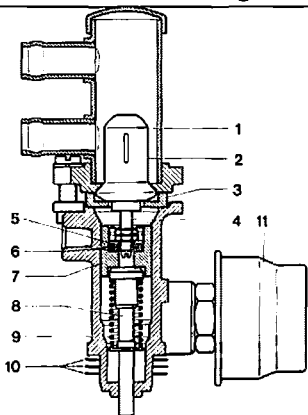
Einstellschrauben  
für Kraftstoff-  
zumessung:  
1 Leerlauf  
2 untere Teillast  
3 obere Teillast

**Bild III.2-56:** Die als Schraubenzieher ausgebildete, fest installierte Einstellschraube für die Kraftstoffzumessung im Leerlauf an der 6-Stempel-Reihenpumpe der Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren von US-Modelljahr 1972, [568].

Durch zusätzliches Vermessen der Einspritzleitungen auf Einhaltung spezifischer Durchflußwerte vor der Montage wurde Ähnliches erreicht wie durch das Kalibrieren von Leerlaufgemisch-Austrittsbohrungen bei Vergasern.

### 2.3.3.3 Optimierung der Abgasemissionen während des Warmlaufs

Während des Anlaßvorganges beim Motorkaltstart (d. h. bei Starttemperaturen  $< 20^{\circ}\text{C}$ , der im Emissionstest unberücksichtigt bleibt, erfolgte in den Modelljahren 1968/69 eine zweifache Erhöhung der eingespritzten Kraftstoffmenge: Zunächst schob der in Bild III. 2-54 gezeigte Startmagnet



1 Gehäuse für Kühlwasser  
2 Dehnstoffelement  
3 Führungsring  
4 Druckstift  
5 Scheibe  
6 Ausgleichsscheiben  
7 Kolben  
8 Druckstange  
9 Gehäuse  
10 Ausgleichsscheiben  
11 Luftfilter

**Bild III.2-57:** Kühlwassertemperaturgesteuerter Warmlaufregler mit Zusatzluftschieber (7) und der zwecks Einspritzmengenerhöhung auf die Hebelmechanik des Einspritzpumpen-Reglers wirkenden Druckstange (8), wie an der 6-Stempel-Reihenpumpe der Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren des US-Modelljahres 1972 eingesetzt, [570].

**Bild III. 2-57** gezeigte (ebenfalls von der Kühlwassertemperatur abhängige) Warmlaufregler einerseits über die Hebelmechanik der Einspritzpumpe (siehe Bild III. 2-53) eine Anreicherung sowie durch eine Leitung vom Warmlaufregler zum Kaltstartventil am Saugrohr eine Zuführung der für den zusätzlich eingespritzten Kraftstoff erforderlichen

zugänglich.

Bei den Arbeiten zur Erzielung konstanter Einspritzmenge im Leerlauf - und damit konstanter Leerlaufdrehzahl und Leerlauf-Abgasemissionen - zeigte sich, daß Querschnittsfehler in den Einspritzleitungen von Pumpe zu Düse Veränderungen der Durchflußmenge und dadurch ungleichmäßige Gemischverteilung mit Emissionsanstieg bewirken konnten. Die Gefahr, Querschnittsfehler zu verursachen, bestand z. B. beim Anstauchen des Endkonus an die Einspritzleitungen und konnte hier eine Streuung bis zu  $1,5 \text{ mm}^3/\text{Hub}$  verursachen, was bei einer Leerlauf-Förderung von  $\{569\}$ .  $19 \text{ mm}^3/\text{Hub}$  immerhin einen Fehler von  $\approx 8 \%$  ausmachte.

während des Anlaßvorganges bei Temperaturen von  $< + 5^{\circ}\text{C}$  die Regelstange - zeitlich begrenzt - auf (erhöhte) Startmenge ("S"). Es wurde hierzu von einem Thermozeitschalter kühlwasser-temperaturabhängig angesteuert. Gleichzeitig steuerte ein Thermozeitschalter bis zu einer Kühlwassertemperatur von  $+ 35^{\circ}\text{C}$  ein am Saugrohr angebrachtes, mit einer fein zerstäubenden 2-Loch-Dralldüse versehenes elektromagnetisches Startventil (beim  $6,3 \text{ l/V8}$ -Motor je ein Ventil pro Saugrohr), das zusätzlich Kraftstoff in Richtung zu den Einzelsaugrohren spritzte. Ab Modelljahr 1970 entfiel der Kaltstartmagnet an der Einspritzpumpe der  $2,8 \text{ l/6-Zyl.}$  Motoren, dafür wurde die durch das Startventil am Saugrohr (während des Anlaßvorganges) eingespritzte Kraftstoffmenge erhöht.

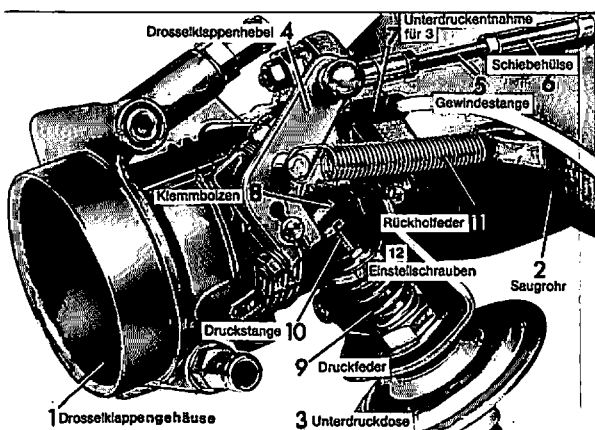
In dem für den Abgastest sehr wichtigen Warmlauf nach dem Anspringen des Motors, bewirkte dann der in



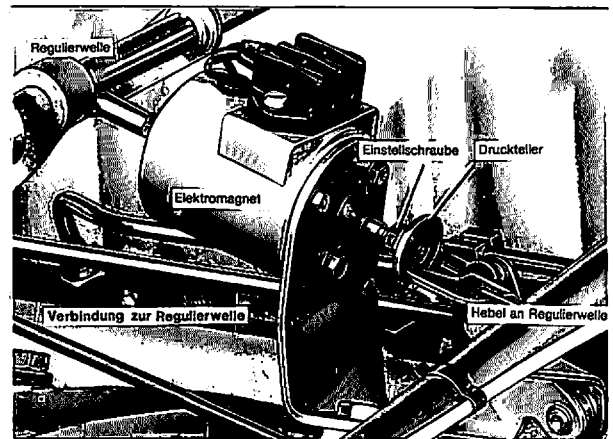
Luftmenge. Durch entsprechende Beeinflussung des Dehnstoffelementes und des Luftschiebers im Warmlaufregler konnten die Abstimmungspunkte von Luft und Kraftstoff bestimmt werden, so daß der beste Kompromiß zwischen geringen Emissionen und stabilem Motorlauf in der Warmlaufphase realisiert war. Diese Abstimmungspunkte wurden in den Modelljahren 1968 bis 1972 immer mehr zu niedrigeren Temperaturen verschoben, was deutliche Verbesserungen der HC- und CO-Emissionen zur Folge hatte. Eine individuelle emissionsoptimierte Anpassung des Warmlaufreglers war darüber hinaus durch Beilegen/Entfernen der in Bild III. 2-57 gekennzeichneten Unterlegscheiben (6 = Luft; 10 = Kraftstoff) möglich.

#### 2.3.3.4 Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl

Da mit sinkender Leerlaufdrehzahl unter Last die Abgas-Emissionen meist ansteigen, waren Vorkehrungen zur Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl zu treffen. Bild III. 2-58



**Bild III.2-58:** Die im US-Modelljahr 1971 an Mercedes-Benz Fahrzeugen mit 2.8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren (und automatischem Getriebe) eingesetzte saugrohrunterdruckgesteuerte Drosselklappenanhebung zur Leerlaufstabilisierung durch Luftzugabe, [571].



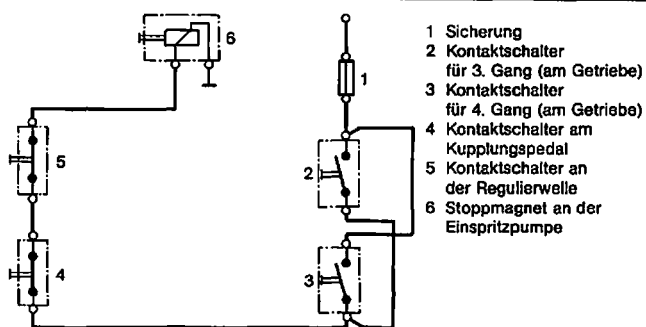
**Bild III.2-59:** Die im US-Modelljahr 1972 an Mercedes-Benz Fahrzeugen mit 2.8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren (und automatischem Getriebe) eingesetzte elektrisch angesteuerte Regulierwellenanhebung zur Leerlaufstabilisierung durch Luft- und Kraftstoffzugabe, [572].

zeigt die im Modelljahr 1971 eingeführte pneumatisch gesteuerte Drosselklappenanhebung. Bei Abfall der Leerlaufdrehzahl und damit des auf den Regler wirkenden Saugrohrunterdruckes, hob der Stift (10) die Drosselklappe an und stabilisierte damit die Leerlaufdrehzahl. Die Drosselklappe war hierbei mit dem Reguliergestänge über eine Schiebehülse (5/6) verbunden, so daß die Anhebung der Leerlaufdrehzahl nur durch Luftzugabe bewirkt wurde. Dieses Prinzip konnte jedoch nur so lange angewendet werden, wie die Grundeinstellung der Leerlauf-Kraftstoffmenge noch nicht bis an die Laufgrenze abgemagert war.

Im Zuge weiterer Abmagerungsmaßnahmen mußte dieser Regler daher im Modelljahr 1972 durch die in Bild III. 2-59 dargestellte Vorrichtung für Fahrzeuge mit mechanischer Benzineinspritzung und automatischem Getriebe abgelöst werden. Beim Einlegen einer Fahrstufe im Leerlauf erhielt das Elektromagnetventil Strom und hob das gesamte Reguliergestänge (Drosselklappe = Luft; Regler = Kraftstoff) über einen Hebel so weit an, daß der Drehzahlabfall wieder ausgeglichen wurde.

### 2.3.3.5 Eingriffe in den Schiebetrieb

Auch beim Einspritzmotor führen hohe Saugrohrunterdrücke und entsprechend hohe Restgasanteile im Schiebetrieb zu überfettetem und damit nicht mehr zündfähigen Gemisch.

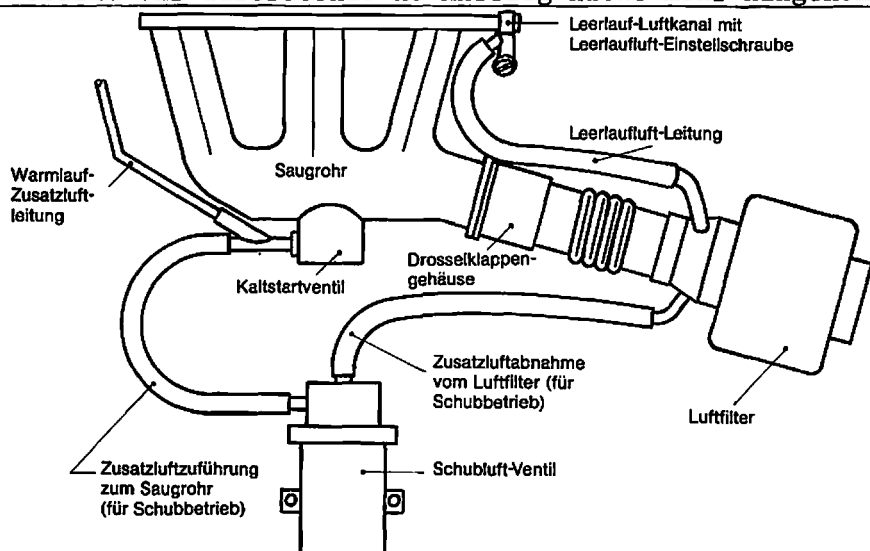


**Bild III.2-60:** Elektrische Schaltung einer Kraftstoffabstoppung im Schiebetrieb für Mercedes-Benz Fahrzeuge mit 2.8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren (und mechanischem Getriebe) im US-Modelljahr 1968, [573].

Die hierbei auftretenden vom Abgastest her besonders kritischen HC-Spitzen konnten von Modelljahr 1968 bis 1971 durch die beim Einspritzverfahren besonders leicht zu realisierende Kraftstoffabschaltung im Schub vermieden werden. Bild III. 2-60 zeigt die Schaltung, mit der die Regelstange der mechanischen Einspritzpumpe bei Verzögerungen mit eingelegtem 3. oder 4. Gang, d. h. wenn die Schalter (2) oder (3) sowie (4) geschlos-

sen waren, auf Kraftstoff-Nullförderung gedrückt wurde. Der Zustand "Schiebetrieb" wurde hierbei angezeigt durch Nullstellung der Drosselklappen-Regulierwelle, d. h. wenn Schalter (5) geschlossen war. Auch der von Modelljahr 1968 bis 1972 in den Fahrzeugen MB 300 SEL-6.3 und MB 600 eingesetzte 6,3 l/V-8 Motor erhielt ab Modelljahr 1970 eine Kraftstoffabstoppung im Schub, deren Ansteuerung im Prinzip der beim 2,8 l/6-Zyl. Motor beschriebenen Ausführung glich.

Mit strenger werdenden Abgasstandards und dem zu jener Zeit noch gültigen Konzentrationsmeßverfahren im Abgastest konnte jedoch auch der beim Wiedereinsetzen der Kraftstoffzufuhr auftretende HC-Anstieg nicht mehr hingenommen werden. Dieses Wiederein-



**Bild III.2-61:** Aufrechterhaltung einer emissionsarmen Verbrennung durch Luftzugabe anstelle einer Kraftstoffabstoppung im Schiebetrieb an Mercedes-Benz Fahrzeugen mit 2.8 l/6-Zyl.-Einspritzmotoren des US-Modelljahres 1972, [574].

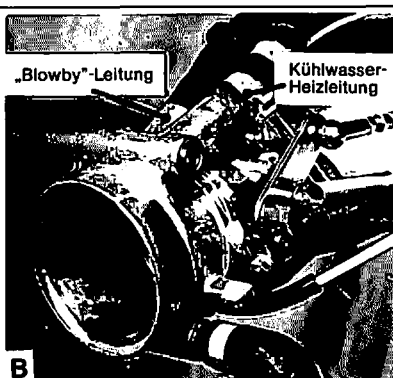
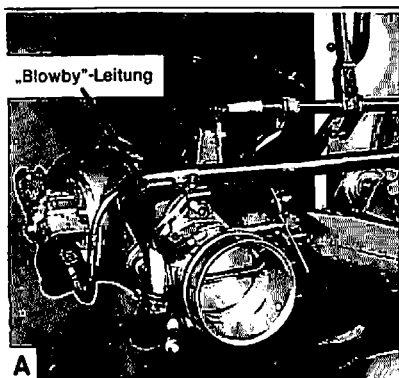
setzen lag einerseits so spät wie möglich, andererseits mußte ein "Durchpendeln" des Motors, d. h. Stehenbleiben des Fahrzeuges wegen zu langer Kraftstoffabstoppung sicher vermieden werden. So erfolgte sowohl am 2.8 l/6-Zyl. wie auch am 6.3 l/V8-Motor im Modelljahr 1972 der Übergang von Kraftstoffabschaltung auf Schubverbrennung. Hierbei wurde während der Verzögerungsphasen die Leertlaufkraftstoffmenge weiter-

hin eingespritzt, aber durch gleichzeitige Zugabe von Luft durch ein separates Ventil ein zündfähiges Gemisch erhalten. Durch die Schubverbrennung entfiel nicht nur die Gefahr des Motorstehenbleibens, sie zeigte auch durch Wegfall des Einschaltstoßes beim Wiedereinsetzen der Kraftstoffzufuhr Vorteile bezüglich Fahrkomfort. In Bild III. 2-61

ist die Anordnung einer solchen Schubverbrennung am 2.8 l/6-Zyl. Motor gezeigt.

#### 2.3.3.6 Berücksichtigung von Kurbelgehäuse- und Verdunstungsgasen

Bei den von Modelljahr 1968 bis 1972 im Verkaufsprogramm befindlichen Motoren mit mechanischer Benzineinspritzung wurden die Gase aus dem Kurbelgehäuse von der Ventilraum-Abdeckung des Motors zum Klappenstutzen vor die Drosselklappe zurückgeführt. Die Anordnung wurde bereits in Kap. 2.1.5 beschrieben, so daß an dieser Stelle nur



**Bild III.2-62:** Klappenstutzen am Mercedes-Benz 2,8 l/6-Zyl.-Einspritzmotor: Unbeheizt und „Blowby“-Einleitung auf Atmosphärenseite (A), sowie beheizt und „Blowby“-Einleitung auf der Saugseite (B) der Drosselklappe, [575].

noch ein spezielles Problem angesprochen werden muß: die Drosselklappen-Vereisung. Sie war eine Folgeerscheinung der Emissionskontrollmaßnahme "Rückführung" der Kurbelgehäuse-Gase und wurde durch Beheizung des Klappenstutzens gelöst. In Bild III. 2-62 sind die beiden Ausführungsformen eines unbeheizten und eines beheizten Klappenstutzens

gezeigt.

Die ab Modelljahr 1970 einsetzenden Grenzwerte für Verdunstungsemissionen wurden bei den nur bis Modelljahr 1972 im Programm vorhandenen Motoren mit mechanischer Benzineinspritzung durch Kurbelgehäusespeicherung eingehalten. Zur Berücksichtigung dieser Gase bedurfte es am Einspritzsystem keiner besonderen Vorkehrungen, auch entfielen Maßnahmen zum Abdichten des Einspritzsystems wie es z. B. für Vergaser in Bild III. 2-12 angesprochen wurde.

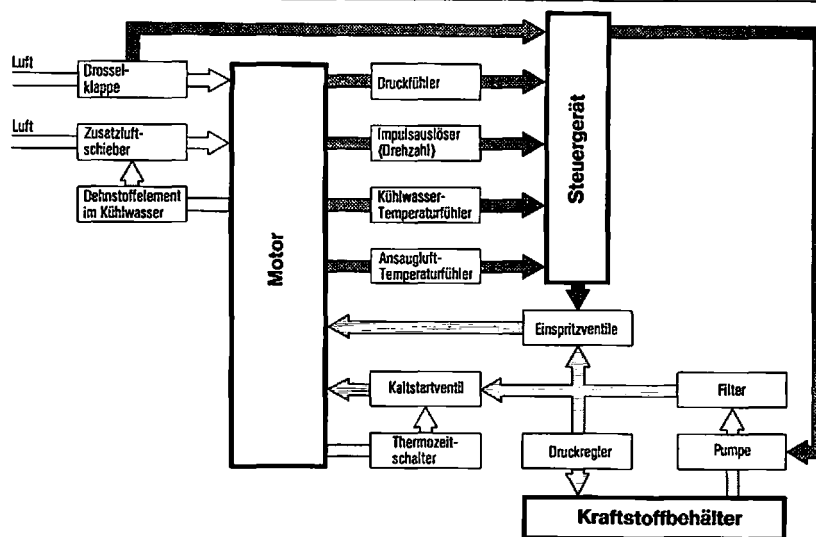
#### 2.3.3.7 Höhenkorrektur

Zur Zeit des Einsatzes der mechanischen Benzineinspritzung existierten noch keine Emissionsgrenzwerte für Höhengebiete. Die Einspritzpumpe war jedoch - wie aus Bild III. 2-54 ersichtlich - bereits mit einer Höhendose ausgestattet, die eine automatische Abmagerung des Kennfeldes bei sinkendem Luftdruck bewirkte und damit, zumindest in gewissen Grenzen, sicher auch Emissionsverschlechterungen vermied. Entsprechende Abgastests unter Höhenbedingungen wurden jedoch derzeit nicht durchgeführt.

#### 2.3.3.8 Aufbau und Funktion der elektronischen Benzineinspritzung mit intermittierender Förderung ("D-Jetronic") an Mercedes-Benz Pkw-Motoren von Modelljahr 1971 bis 1975

Nach [576] wurde der Gedanke, die Einspritzmenge durch die Öffnungszeit von Ventilen die mit konstantem Druck beaufschlagt sind, zu bestimmen und diese Ventile im Arbeitstakt der Maschine auszulösen von Bendix schon Mitte der 50er Jahre formuliert, und es wurden erstmalig Lösungen zur elektronischen Steuerung mittels Halbleiterelementen

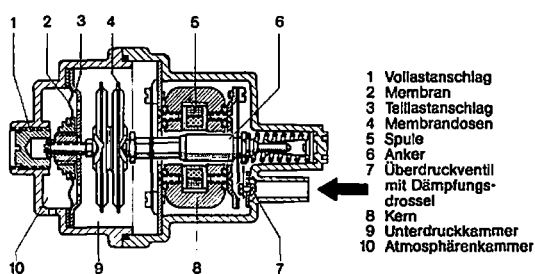




**Bild III.2-65:** Schema der elektronisch gesteuerten Benzineinspritzung Bosch D-Jetronic, wie an den Mercedes-Benz 3.5 l/8-Zyl.-Motoren ab US-Modelljahr 1971 eingesetzt, [579].

stoff-Rücklaufleitung werden durch einen Membrandämpfer (23) unterbunden. Die Förderleistung der Kraftstoffpumpe liegt wesentlich über der maximal benötigten Kraftstoffmenge, wodurch eine gute Durchspülung der Druckleitungen zur Vermeidung von Dampfblasenbildung gegeben ist.

Die Einspritzventile sind in vier Gruppen zu je zwei Ventilen zusammengefaßt. Die Ventile einer Gruppe gehören zu Zylindern, die in der Zündfolge hintereinander liegen. Das Öffnen der Ventilgruppen steuert ein im Zündverteiler eingebauter Impulsauslöser mit je einem Kontakt für die vier Gruppen. Die Öffnungsdauer bestimmt ein elektronisches Steuergerät (26) in Abhängigkeit des Motorbetriebszustandes. Hierzu erhält das Steuergerät durch verschiedene im Motorraum angebrachte Meßfühler seine Informationen wie in Bild III. 2-65 schematisch dargestellt ist.

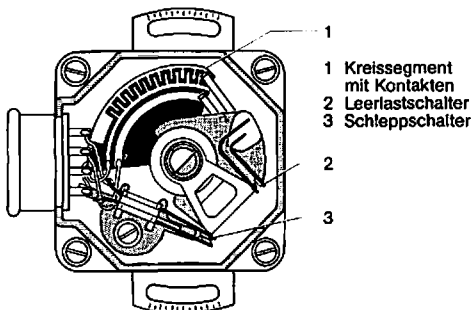


**Bild III.2-66:** Aufbau des Saugrohr-Druckfühlers der Bosch D-Jetronic (eingeführt an Mercedes-Benz 3.5 l/8-Zyl.-Motoren im US-Modelljahr 1971) mit Vollastanreicherung. [580].

im Saugrohr den Anker (6) einer Spule (5), wodurch deren Induktivität geändert wird. Diese Induktivität wird als Kennwert des Saugrohrdruckes in das Steuergerät eingegeben.

Druck herrscht, eine Gemischanpassung auf höchste Leistung. Eine Feder verschiebt dann die Membran und mit ihr den Anker der Spule vom Teillastanschlag (3) zum Vollastanschlag (1) in Richtung "fett".

Neben den beiden Hauptgrößen Drehzahl und Saugrohrdruck werden noch mehrere Korrekturgrößen in das Steuergerät eingegeben, die bei allen Betriebszuständen eine einwandfreie Motorfunktion sicherstellen. So bewirkt ein im Kühlerkreislauf angeordneter Temperaturfühler (16) eine Gemischanreicherung während des Warmlaufs. Ein weiterer im Luftfilter angeordneter Temperaturfühler (14) regelt die Gemischzusammensetzung in Abhängigkeit von der Lufttemperatur. Dies ist erforderlich, da die Steuerung der Kraftstoffmenge aufgrund von Saugrohrdruck und Drehzahl exakt nur für konstante Lufttemperatur gilt. Da sich aber mit der Temperatur die Luftdichte und damit die pro Hub angesaugte Luftmasse ändert, verkürzt der im Ansaugkanal angeordnete Temperaturfühler die Öffnungsdauer der Einspritzventile mit wachsender Temperatur entsprechend der Verringerung der Luftdichte, wobei die Dichte - Korrekturgrößen anhand empirisch gefundener Daten eingearbeitet wurden. Das Übergangsverhalten beim Öffnen der Drosselklappe wird verbessert durch eine Vergrößerung der regulären Einspritzmenge und durch zusätzliche Einspritzimpulse. Die hierzu erforderlichen elektrischen Impulse erhält das Steuergerät über einen von der Drosselklappenwelle betätigten Schalter (19), der in Bild III. 2-67 im Detail gezeigt ist. Dieser Schalter hat eine Doppelfunktion. Er be-



**Bild III.2-67:** Aufbau des Drosselklappenschalters der Bosch D-Jetronic (eingesetzt an Mercedes-Benz 3.5 l/8-Zyl.-Motoren ab US-Modelljahr 1971) mit Leerlaufabschaltung und Übergangsanreicherung, [561].

wirkt einmal zusammen mit einem elektronischen Drehzahlswitcher die Absperrung der Kraftstoffzufuhr im Schiebetrieb, also in Leerlaufstellung der Drosselklappe und senkt dadurch sowohl den Kraftstoffverbrauch wie auch die Abgasemissionen. Zum anderen verlängert er beim Beschleunigen die reguläre Impulsdauer und löst zusätzliche Einspritzimpulse aus, um den Zeitverzug des Druckfühlers zu überbrücken. Dazu gleitet ein Schleifkontakt (3) über ein Kissegment (1) mit mehreren Kontakten, die jeweils einen Einspritzimpuls auslösen. Maximal können es je Ventilgruppe etwa 10

Impulse von jeweils maximal 2,5 ms Dauer sein, was eine Mehrmenge von 20 bis 30 % ergibt. Der Schleifkontakt ist als Schleppschalter ausgebildet, so daß nur beim Beschleunigen, nicht aber beim Gaswegnehmen die Gemischanreicherung wirksam wird.

Die besonders zur Emissionskontrolle eingesetzte Kraftstoffabspernung im Schiebebetrieb tritt in Kraft, sobald - unabhängig von der Kühlwassertemperatur - vorher eine Drehzahl von 1500 U/min überschritten war. Aufgehoben wird die Kraftstoffabspernung, wenn bei einer Kühlwassertemperatur von  $> + 70^{\circ}\text{C}$  eine Drehzahl von 900 U/min unterschritten wird. Bei einer Kühlwassertemperatur von  $< 20^{\circ}\text{C}$  wird die Kraftstoffabspernung schon bei 1470 U/min aufgehoben. Zwischen diesen beiden Temperaturbereichen steigt die Wiedereinsetzdrehzahl an.

Um ein Stehenbleiben des Motors zu verhindern, wird die Kraftstoffabspernung beim Unterschreiten einer bestimmten Drehzahl, die von der Motortemperatur abhängig ist, aufgehoben.

Über ein Startventil (9) wird beim Anlassen des kalten Motors zusätzlich Kraftstoff in das Saugrohr eingespritzt. Gesteuert wird das Ventil mit dem Zündanlaß-Schalter (27) in Verbindung mit einem Thermozeitschalter (17), der im Kühlwasserkreislauf angeordnet ist. Beim Kaltstart und solange der Motor seine Betriebstemperatur noch nicht erreicht hat, wird zur Erzielung eines einwandfreien Rundlaufs im Leerlauf zusätzlich Luft benötigt. Diese wird über das Luftfilter angesaugt und dem Saugrohr über einen Zusatzluftschieber (15) zugeführt. Die Steuerung des Zusatzluftschiebers erfolgt mechanisch von einem paraffingefüllten Dehnstoffelement, das vom Kühlwasser umspült wird.

Mehrere der unter 2.3.3.1 bei der mechanischen Benzineinspritzung beschriebenen speziellen Maßnahmen zur Emissionskontrolle (wie z. B. Verbesserungen der Gemischeinstellbarkeit und -konstanz, Stabilisierung der Leerlaufdrehzahl, Eingriffe in den Schiebebetrieb, Höhenkorrektur) konnten bei der D-Jetronic, da sie zum Teil schon im System eingearbeitet waren, entfallen oder mußten nur in vereinfachter Form eingesetzt werden.

Zur Warmlafoptimierung erfolgte z. B. nur eine Absenkung des Gesamtniveaus der eingespritzten Kraftstoffmenge, der Absteuerungspunkt wurde jedoch nicht vorverlegt. Durch Einsatz eines absolutdruckmessenden Saugrohrdruckfühlers mit Einführung der 4,5 l-Motoren im Modelljahr 1972 hätte normalerweise eine zusätzliche Höhenanpassung entfallen können, aus Fahrkomfortgründen wurde jedoch dem Absolutdruckmesser eine zusätzliche Höhendose nachgeschaltet, da nicht allein der Saugrohrdruck entscheidend für die Bestimmung der Kraftstoffmenge unter Höhenbedingungen war, sondern auch der sich verändernde Auspuffgegendruck Einfluß ausübte.

Der Drehzahlabfall und die Emissionsveränderung beim Einlegen einer Fahrstufe beim automatischen Getriebe oder beim Einschlagen der Servolenkung konnten hingenommen werden. Nur beim Einschalten der Klimaanlage erfolgte eine Wiederanhebung der abfallenden Leerlaufdrehzahl durch Zündumschaltung von spät nach früh. Derartige Zündumschaltungen, besonders für den im praktischen Fahrbetrieb häufig vorkommenden Fall der Klimaanlagezuschaltung, gerieten behördlicherseits mehrfach in den Verdacht, sogenannte "defeat devices" zu sein, d. h. außerhalb des Abgastests emissionsverschlechternde Wirkung zu zeigen. Dieses Problem wird ausführlich in Kap. 5.3.1.2 behandelt.

Eine Berücksichtigung der aus dem Kurbelgehäuse abgesaugten Gase (Blowby- und Verdunstungsgase) erfolgte bei Fahrzeugen mit D-Jetronic durch eine PCV-Anlage mit Modulierdruckventil wie es schon in Kap. 2.1 beschrieben wurde. Ein solches Ventil war erforderlich, da die Verbrennung mit D-Jetronic wegen des nicht vollständigen

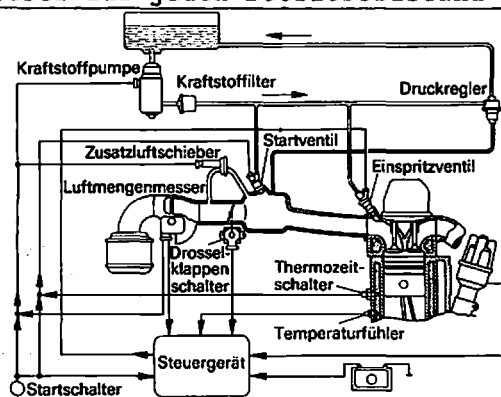
Abschaltens des Kraftstoffes im Schiebebetrieb (zum Vermeiden einer HC-Spitze beim Wiedereinschalten des Kraftstoffes, wie auch bei der mechanischen Einspritzung beschrieben) instabil war. Sie wäre durch die besonders in diesem Fahrzustand zusätzlich angesaugten Kurbelgehäuse-Gase zum Erliegen gekommen, so daß das Modulierdruckventil diese Gase beim Schub abschalten mußte.

Das Zusammenarbeiten der D-Jetronic mit der ab Modelljahr 1973 einsetzenden Abgasrückführung zur  $\text{NO}_x$ -Kontrolle zeigte die für alle nicht luftmassenmessenden Systeme typischen Probleme: Ein Zu- oder Abschalten der zurückgeführten Abgasmenge konnte von dem D-Jetronic-System nicht wahrgenommen und damit auch nicht berücksichtigt werden.

### 2.3.3.9 Aufbau und Funktion der elektronischen Benzineinspritzung mit intermittierender Förderung und Luftmengenmessung ("L-Jetronic")

Obwohl dieses System von Daimler-Benz nicht eingesetzt wurde, sei es hier zur Vervollständigung des zum wesentlichen Teil an Belangen der Emissionskontrolle orientierten Entwicklungsweges von Einspritzanlagen unter weitgehender Verwendung der Angaben in {582} mit erwähnt.

Die L-Jetronic ist eine intermittierend arbeitende Anlage mit Niederdruck-Saugrohreinspritzung, bei der die vom Motor angesaugte Luftmenge unmittelbar gemessen und als Hauptsteuergröße für die zugeführte Kraftstoffmenge benutzt wird. Der Kraftstoff wird durch elektromagnetisch betätigte Einspritzventile zugemessen. Sie stehen unter konstantem Kraftstoffdruck, und ihre der Einspritzmenge proportionale Öffnungsdauer wird im elektronischen Steuergerät aus den Informationen verschiedener elektrischer Geber für jeden Betriebszustand des Motors optimal ermittelt.



**Bild III.2-68:** Aufbau der elektronischen Bosch-Benzineinspritzung mit Luftmengenmessung („L-Jetronic“), [583].

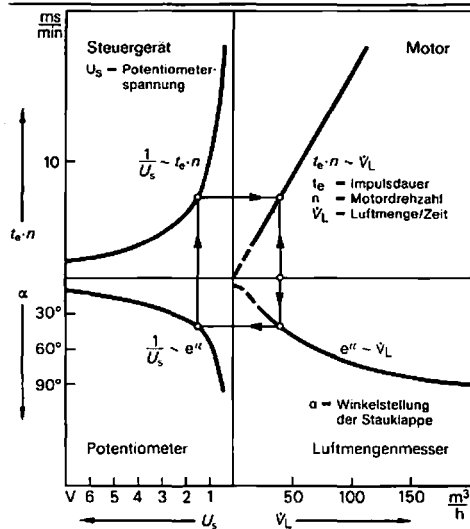
Der Aufbau einer solchen Anlage ist in Bild III. 2-68 gezeigt. Der Kraftstoffkreislauf entspricht im Prinzip dem der D-Jetronic, außer daß der Einspritzdruck mit einem Überströmdruckregler auf konstante Differenz zwischen Kraftstoffdruck und Saugrohrdruck ( $\approx 2.5$  bar) geregelt wird. Hierzu ist die Federkammer des Druckreglers mit dem Saugrohr des Motors verbunden. So wird erreicht, daß der Kraftstoffdruck eine Funktion des Saugrohrdruckes ist, wodurch der Druckabfall

über die Einspritzdüsen konstant bleibt. Damit hängt die von den Einspritzventilen abgespritzte Kraftstoffmenge nur von der Öffnungsdauer der Ventile ab.

Die Grundsteuerung der Kraftstoffmenge erfolgt durch die vom Motor angesaugte Luftmenge und die Drehzahl. Bild III. 2-69 veranschaulicht die hierbei zusammenwirkenden Funktionen. Die vom Motor angesaugte Luftmenge wirkt auf die in Bild III. 2-70 gezeigte Stauklappe im Luftmengenmesser, die - abhängig vom Luftmengenstrom  $\dot{V}_L$  - in

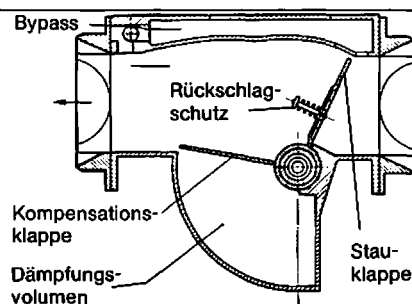


einer definierten Winkelstellung  $\alpha$  gehalten wird. Ohne besondere Maßnahmen würde



**Bild III.2-69:** Zusammenhang verschiedener Funktionen bei der elektronischen Bosch-Benzineinspritzung „L-Jetronic“, [584]

nicht den theoretischen Mittelwert der durchgesetzten Luftmenge an. Aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten wird die Stauscheibe nämlich um einen bestimmten Faktor zu weit ausgelenkt, der z. B. von dem Saugverteilervolumen und dem Druckabfall im gesamten Ansaugsystem, d. h. von geometrischen Gegebenheiten, abhängt. Durch passende Gestaltung der Ansaug-



**Bild III.2-70:** Aufbau des Luftmengenmessers der Bosch „L-Jetronic“ (hier noch mit dem später nicht mehr verwendeten Rückschlagschutz für die Stauklappe), [585].

in der Stauklappe ein federbelastetes Rückschlagventil eingebaut.

Da ein luftmengenmessendes System vom Leerlauf bis Vollast einen Durchsatzbereich von 1 : 30 mit großer Genauigkeit beherrschen muß, galt es, eine konstante prozentuale Genauigkeit einzuhalten. Dies wurde durch Vorgabe eines logarithmischen Zusammenhangs zwischen dem Ausschlag  $\alpha$  der Stauklappe und dem Luftdurchsatz  $\dot{V}_L$  erreicht, und zwar durch die Öffnungskontur des bei der Klappenbewegung freiwerdenden Querschnittes. Ein bestimmter Anzeigefehler des Klappenwinkels  $\alpha$  ergibt so über den ganzen Bereich den gleichen prozentualen Fehler  $\Delta \dot{V} / \dot{V}$  der angezeigten Luftmenge. Die so gewählte Abhängigkeit  $\dot{V}_L \approx e^\alpha$  ist im rechten unteren Quadranten von Bild III. 2-69 dargestellt.

Ein Potentiometer, das von der Stauklappe betätigt wird, setzt die Winkelstellung  $\alpha$  in eine Steuerspannung  $U_s$  um. Die Auswertung der Spannung erfolgt dabei so, daß sich die Anzeige kleiner Winkel, d. h. kleiner Luftdurchsätze, bei hohen Spannungen abspielt und umgekehrt. Dadurch wird die höchste Genauigkeit im unteren Teillastge-

die Klappe im pulsierenden Luftstrom instabil werden. Deshalb ist zur Dämpfung eine Kompensationsklappe vorgesehen, die über einen engen Spalt mit einem Dämpfungsvolumen in Verbindung steht. Dämpfungsvolumen und Spalt sind im Hinblick auf das Übergangsverhalten aufeinander abgestimmt. Durch die Kompensationsklappe wird erreicht, daß die durch die Saughübe angeregten Schwingungen des Saugrohrdruckes nur einen geringen Einfluß auf die Winkelstellung der Klappe haben. Trotzdem zeigt der Luftmengenmesser bei stark pulsierender Strömung, wie sie am Motor bei Vollast auftritt, nicht den theoretischen Mittelwert der durchgesetzten Luftmenge an. Aufgrund der physikalischen Gesetzmäßig-

geometrie kann also die Vollastanreicherung in gewissem Umfang beeinflusst werden. Am Luftmengenmesser wurde auch die Möglichkeit zur additiven Veränderung des Kennfeldes geschaffen; dazu wird über einen verstellbaren Bypass ein kleiner Teil der angesaugten Luftmenge an der Stauklappe vorbeigeleitet. Um Beschädigungen des Luftmengenmessers bei Rückzündung ins Saugrohr zu verhindern, ist

biet erreicht, das für die Einhaltung der Abgasvorschriften besonders wichtig ist. Die sich damit ergebende Abhängigkeit  $1/U_s \approx e^\alpha$  ist im linken unteren Quadranten von Bild III. 2-69 dargestellt.

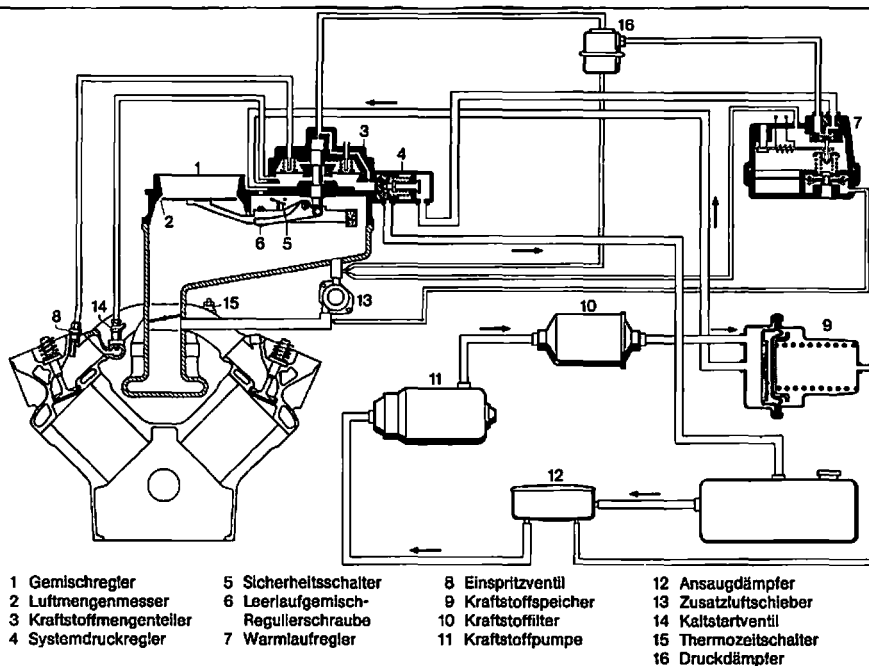
Im elektronischen Steuergerät werden aus dieser Spannung  $U_s$ , die die Information über den Luftmengenstrom  $\dot{V}_L$  enthält, Impulse  $t_e$  gebildet, die die je Öffnungshub der Einspritzventile der zugeteilten Kraftstoffmenge  $\dot{V}_K$  repräsentieren. Um die Information über die Luftmenge je Zeiteinheit in eine Information je Einspritzdüsen-Hub umzusetzen, muß im Steuergerät durch die Drehzahl  $n$  dividiert werden. Dann ist die Zeit  $t_e$  proportional dem vom Motor je Hub angesaugten Luftmengenstrom  $\dot{V}_L$ , und es kann durch Wahl der Proportionalitätskonstanten die gewünschte Gemischzusammensetzung bestimmt werden. Die Drehzahl  $n$  liegt im Steuergerät in Form des zeitlichen Abstandes von zwei aufeinanderfolgenden Zündungen vor. Mit dieser  $1/n$ -Bildung bei der Impulszeitgewinnung ergibt sich die im linken oberen Quadranten von Bild III. 2-69 dargestellte Abhängigkeit  $1/U_s \sim t_e \cdot n$  zwischen der vom Potentiometer gelieferten Spannung  $U_s$  und der je Zeiteinheit eingespritzten Kraftstoffmenge  $t_e \cdot n$ . Bei einer Variation des Luftmengenstromes  $\dot{V}_L$  im Verhältnis 1 : 40 und gleichzeitiger Änderung der Drehzahl  $n$  im Verhältnis 1 : 10 ändert sich die Zeit  $t_e$ , d. h. die Kraftstoffzuteilung je Einspritzventil-Hub nur im Verhältnis 1 : 4.

Um den Umfang der elektronischen Schaltung im Steuergerät möglichst klein zu halten, werden alle Einspritzventile elektrisch parallel geschaltet, so daß sie entweder gleichzeitig öffnen oder gleichzeitig schließen. Dadurch ergeben sich jedoch bei den einzelnen Zylindern unterschiedliche Vorlagerungszeiten für den Kraftstoff. Um trotzdem eine gleichmäßige Verbrennung zu erzielen, wird je Nockenwellenumdrehung zweimal die Hälfte der für einen Arbeitszyklus benötigten Kraftstoffmenge abgespritzt. Dieses Verfahren hat außerdem den Vorteil, daß keine feste Zuordnung des Nockenwellenwinkels zum Einspritzzeitpunkt nötig ist. Die Einspritzimpulse können deshalb direkt vom Unterbrecherkontakt getriggert werden, wobei bei jeder zweiten, dritten oder vierten Zündung ein Impuls ausgelöst wird, je nachdem, ob der Motor vier, sechs oder acht Zylinder hat.

Dieser Grundsteuerung der Kraftstoffmenge werden die für bestimmte Betriebszustände (z. B. Kaltstart und Warmlauf, Leerlauf- und Vollastkorrektur, Schubabschaltung, Höhenkorrektur, Übergangsverhalten) erforderlichen Korrekturen elektronisch überlagert, wie es im Prinzip auch bei der D-Jetronic durchgeführt wird.

#### 2.3.3.10 Aufbau und Funktion der mechanischen Benzineinspritzung mit kontinuierlicher Förderung und Luftmengenmessung ("K-Jetronic") an Mercedes-Benz Pkw-Motoren ab Modelljahr 1976

Die K-Jetronic wurde von Daimler-Benz erstmals an 4,5 L/V8 Motoren des Modelljahres 1976 eingesetzt. Eine entsprechende Anordnung des Systemes ist in Bild III. 2-71 gezeigt. Unter weitgehender Verwendung der Angaben in [586] kann die Anlage wie folgt



**Bild III.2-71:** Anordnung der Bosch K-Jetronic, wie an Mercedes-Benz Fahrzeugen mit 4.5 l/8-Zyl. Motoren im US-Modelljahr 1976 eingeführt, [587].

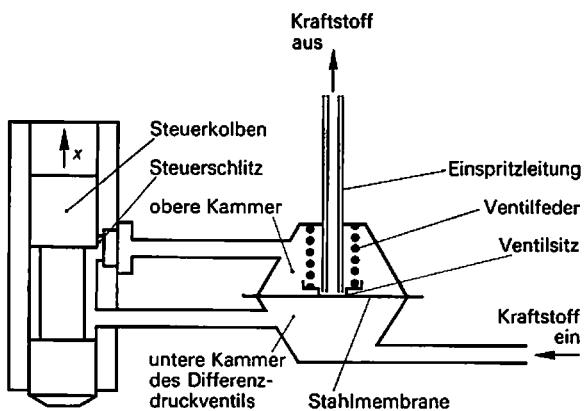
beschrieben werden: Die K-Jetronic ist ein mechanisches Einspritzsystem, das den Kraftstoff über Steuerschlitze mit nachgeschalteten Differenzdruckventilen kontinuierlich den Einspritzventilen zuteilt. Die Vorlagerung ist hierbei wie auch bei der D- und L-Jetronic ohne Nachteile für die Schadstoffemissionen im Abgas. Den Schlitzen mit linearer Öffnungscharakteristik ist ein ebenfalls linear nach dem Schwere-

bekörperprinzip arbeitender Luftmengenmesser zugeordnet. Das Prinzip einer linearen Wegmessung bei der K-Jetronic ist schon vom Gleichdruckvergaser bekannt, und man kann sagen, daß der Gleichdruckvergaser Vorbild für die Entwicklung der K-Jetronic war. Von der Grundzumessung mittels eines Hebels ausgehend, sind überlagernde Eingriffe zur Variation des Gemisches, entsprechend dem Bedarf eines Motors, möglich. Anhand des obengenannten Bildes sei die Funktion der Kraftstoffzuteilung dieses Systemes kurz beschrieben.

Der Kraftstoff wird von der Elektrokraftstoffpumpe (11) aus dem Kraftstoffbehälter angesaugt und über Kraftstoffspeicher (9) und -filter (10) zum Kraftstoffmengenteiler (3) gefördert. Der notwendige Überdruck von 4,7 bar wird vom Systemdruckregler (4) konstant gehalten. Der Kraftstoff gelangt dann über die Steuerschlitze und Differenzdruckventile von (3) sowie die Einspritzleitungen zu den Einspritzventilen. Diese haben einen Öffnungsdruck von 3,3 bar Überdruck und sind so ausgebildet, daß sie auch bei geringem Durchsatz den Kraftstoff fein zerstäuben.

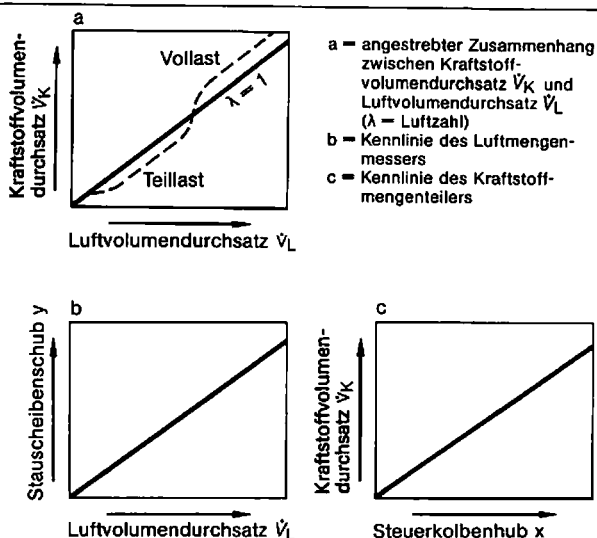
Für das gewünschte Luft-Kraftstoff-Verhältnis sorgt der Gemischregler (1), der aus dem schon genannten Kraftstoffmengenteiler (3) und dem Luftmengenmesser (2) besteht. Der Luftmengenmesser, der vor der Drosselklappe eingebaut ist, hat einen Lufttrichter und eine an einem drehbaren Hebel befestigte Stauscheibe. Diese wird in dem Lufttrichter je nach angesaugter Luftmenge wie ein Schwebekörper so lange angehoben oder gesenkt, bis die Kraft der anströmenden Luft und eine Gegenkraft im Gleichgewicht sind. Diese Gegenkraft ist, bei austarierter Eigenmasse von Stauscheibe und Hebel, die hydraulische Kraft am Steuerkolben des in Bild III. 2-72 gezeigten Kraftstoffmengenteilers.

Bei kontinuierlicher Einspritzung ergibt sich gegenüber den üblichen von Hub zu Hub zumessenden Systemen ein Regelbereich von etwa 1 : 30, da neben dem Lastbereich (Gaspedalstellung) von 1 : 4 auch der Drehzahlbereich von 1 : 8 verarbeitet werden muß.



**Bild III.2-72:** Prinzipieller Aufbau des Kraftstoff-Mengenteilers im Gemischregler der Bosch „K-Jetronic“, nach [588].

Dieser große Regelbereich ist bei der K-Jetronic deshalb möglich, weil einer kontinuierlichen Luftmengenmessung eine kontinuierliche Kraftstoffzuteilung linear zugeordnet ist. Die Grundlage der linearen Kraftstoffzumessung bildet die in Bild III.2-72 gezeigte Querschnittssteuerung mittels sich gleichmäßig öffnender Rechteckschlitzte. Jedem Zylinder des Motors ist ein solcher Steuerschlitz zugeordnet. Ein jeweils nachgeschaltetes Differenzdruckventil hält den Druckabfall an den Steuerschlitzten unabhängig vom Durchsatz, vom Förderpumpendruck und vom Düsenöffnungsdruck konstant. Das Differenzdruckventil ist ein Flachsitzventil, bei dem eine Stahlmembran Ober- und Unterkammer voneinander trennt. Der Ventilsitz ist in das Oberteil des Mengenteilers fest eingebaut. An der Membran herrscht Kräftegleichgewicht, das für jede Kraftstoffmenge durch Regeln des Ventilquerschnittes aufrechterhalten wird. Steigt durch Öffnen des Steuerschlitzes der Druck auf der Membranoberseite an, d. h., wird der Differenzdruck am Steuerschlitz kleiner, so vergrößert sich der Ventilquerschnitt mit drucksenkender Wirkung in der oberen Kammer, bis das Gleichgewicht der Kräfte erreicht ist. Liegt der Druck auf der Membranoberseite unter dem Sollwert, wird der Ventilquerschnitt durch die Membran verkleinert, bis der durch die Federkraft bestimmte Differenzdruck erreicht ist.



**Bild III.2-73:** Funktionszusammenhänge für den Gemischregler der Bosch „K-Jetronic“, [589].

Bei linearem Verhalten von Luftmengenmesser und Kraftstoffdosiereinrichtungen, die nur über einen Hebel zum Gemischregler zusammengefaßt sind, kann das Luft-Kraftstoff-Verhältnis für ein gewünschtes Luftverhältnis  $\lambda$  genau und stabil eingestellt werden. Die notwendige extrem hohe Genauigkeit kann erreicht werden, weil bei dieser einfachen Art der Übertragung ein Minimum an Fehlermöglichkeiten eingeht. In Bild III.2-73 sind der geforderte lineare Zusammenhang zwischen Kraftstoff- und Luftdurchsatz sowie die Kennlinien des Luftmengenmessers und des Kraftstoffmengenteilers dargestellt. Hierbei ist - wie in Kap.

2.3.3.1 einleitend gesagt wurde - zu beachten, daß der Luftmengenstrom  $\dot{V}_L$  wie auch der Kraftstoffmengenstrom  $\dot{V}_K$  von der Quadratwurzel aus der Dichte  $\rho$  des entsprechenden Mediums abhängen:  $(\dot{V}_{L,K} \sim 1/\sqrt{\rho_{L,K}})$ .

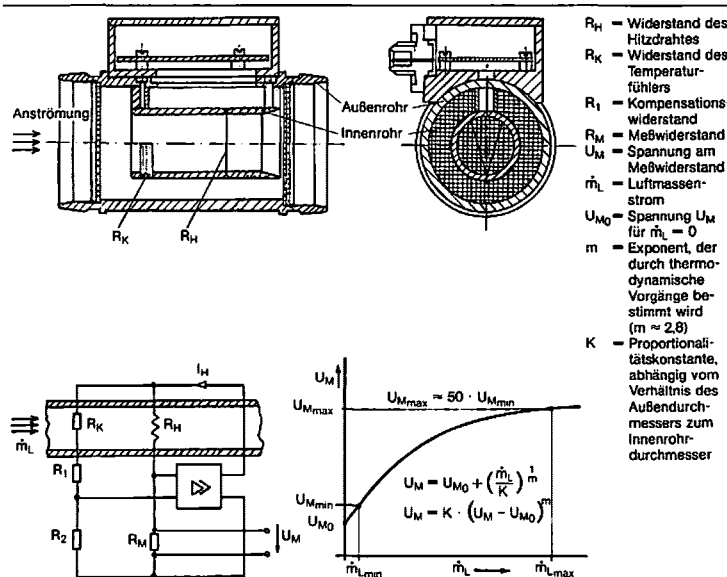
### 2.3.3.11 Das Hitzdraht-System zur Luftmassenmessung (LH-Jetronic<sup>®</sup>)

Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt wurde, konnten alle bisher verwendeten Luftzuteilungssysteme, die für die motorische Verbrennung wichtige Größe "Luftmasse" nur fehlerbehaftet ( $\dot{m}_L \sim \sqrt{\rho}$  sowie  $\dot{V}_L \sim \sqrt{1/\rho}$ ) erfassen. Daher sei an dieser Stelle ein System zur "wahren Luftmassenmessung" (das Hitzdraht-System von Bosch) ergänzend erwähnt.

Dieses Verfahren hat folgende Vorteile [590]:

- kein Höheneinfluß (Luftdruck)
- kein nennenswerter Feuchteinfluß
- kein Pulsationseinfluß
- schnelle Ansprechzeit
- keine bewegten Teile
- einfache Installation
- geringes Kostenpotential

Es benutzt das bekannte Prinzip der Konstant-Temperatur. Der Hitzdraht, ein 70  $\mu\text{m}$  dicker Platindraht ist - wie in Bild III. 2-74 gezeigt - Teil einer Brückenschaltung



- $R_H$  - Widerstand des Hitzdrahtes
- $R_K$  - Widerstand des Temperaturfühlers
- $R_1$  - Kompensationswiderstand
- $R_M$  - Meßwiderstand
- $U_M$  - Spannung am Meßwiderstand
- $\dot{m}_L$  - Luftmassenstrom
- $U_{M0}$  - Spannung  $U_M$  für  $\dot{m}_L = 0$
- $m$  - Exponent, der durch thermodynamische Vorgänge bestimmt wird ( $m \approx 2,8$ )
- $K$  - Proportionalitätskonstante, abhängig vom Verhältnis des Außendurchmessers zum Innenrohrdurchmesser

deren Ausgangsspannung durch Regelung des Heizstromes auf Null gehalten wird.

Bei Erhöhung des Luftstromes kühlt sich der Draht ab, wodurch sein Widerstand sinkt. Die zur Wiederherstellung des Nullabgleiches erforderliche Erhöhung des Heizstromes ist ein Maß für den Luftmassendurchsatz. Die Wiederherstellung der Drahttemperatur erfolgt sehr schnell, da die Drahtmasse sehr klein ist, und man heute Zeitkonstanten von wenigen Millisekunden messen kann.

Daraus folgt, daß selbst bei den unter (Motor-) Vollast auftretenden Pulsationen jeweils die exakte Luftmasse gemessen

Bild III.2-74: Aufbau, elektrische Schaltung und Charakteristik des Bosch Hitzdraht-Luftmassenmessers, nach [591].

sen und Pulsationsfehler vermieden werden können.

Während bei der K- und L-Jetronic die bestimmende physikalische Größe durch Strömungsverhältnisse in Querschnitten gegeben ist, wobei die kinetische Energie der Luftströmung in Druckenergie an den Stauklappen umgewandelt wird, spielt beim Hitzdrahtsystem die Interaktion von Geschwindigkeits- und Temperaturfeld am Hitzdraht die entscheidende Rolle. Nach Lösung komplizierter mathematischer Zusammenhänge (Navier-Stokes Differentialgleichungen zur Wärme- und Stoffübertragung) ergibt sich ein charakteristischer Zusammenhang zwischen Heizstrom und Luftmassenstrom. Da die physikalischen Größen der Luft, wie Viskosität, Wärmekapazität und Wärmeleitung im hier relevanten Bereich unabhängig vom Luftdruck sind, hat der Hitzdraht-Luftmassenmesser keinen "Höhenfehler" und braucht daher auch keine Höhenkorrektur. Wegen der

Temperaturabhängigkeit von Wärmekapazität und Viskosität ist jedoch eine Temperaturkorrektur erforderlich.

#### 2.3.4 Maßnahmen an Saugrohr und Einlaßkanal

In die Betrachtung von Emissionskontrollmaßnahmen auf der Ansaugseite des Motors nach dem Gemischaufbereitungssystem sollen Gemischverteilung, Gemischvorwärmung sowie die Einleitung rückgeführten Abgases einbezogen werden.

##### 2.3.4.1 Gleichmäßige Gemischverteilung

Bei Mehrzylindermotoren ist es besonders schwierig, gleichmäßige Gemischverteilung auf alle Zylinder sicherzustellen, da der Vergaser ein Gemisch aus Luft, Kraftstoffdampf, Kraftstofftropfen und an der Wand entlang fließende Kraftstoffstrahlen liefert. In [592] werden bereits gründliche Untersuchungen dieses Problems aus dem Jahre 1944 erwähnt [593], in denen der letztgenannte, an den Saugrohrwänden entlangfließende Kraftstofffilm als Hauptverursacher dieser ungleichmäßigen Gemischverteilung erkannt wurde. Spätere Arbeiten [594,595] bezeichnen die unverdampft in der Strömung fliegenden Kraftstofftropfen als Hauptverursacher für diese Ungleichmäßigkeit. In [592] wurden daher Versuche durchgeführt, die es gestatten, den Einfluß von Kraftstofffilm und Kraftstofftropfen getrennt zu erfassen, um die wirklichen Ursachen ungleichmäßiger Gemischverteilung zu erkennen. Diese begannen zu diesem Zeitpunkt (1966/67) - unter dem Gesichtspunkt der Luftreinhaltung, also dem Ziel, einen Motor mit möglichst geringen schädlichen Bestandteilen im Abgas zu betreiben - zum Gegenstand besonderen Interesses zu werden.

Um den Kraftstofffilm-Einfluß ohne verfälschende Modifikationen am Saugrohr beurteilen zu können, bediente man sich der diesen Film hauptsächlich beeinflussenden Größe, der Schwerkraft. Durch Neigung des Prüfmotors konnte z. B. an einem 4-Zyl. Motor nachgewiesen werden, daß die in Bild III. 2-75 gezeigte, bereits unterhalb des Vergasers

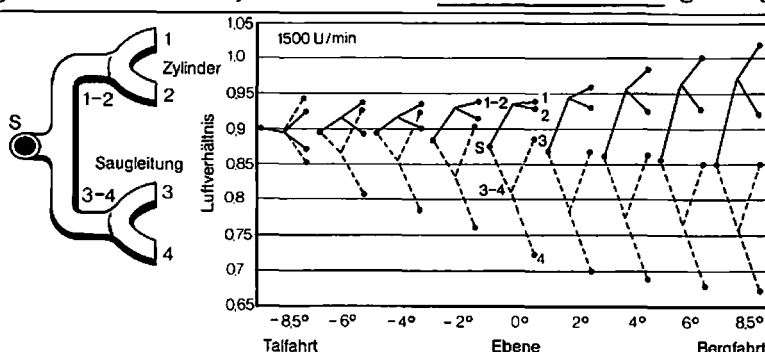
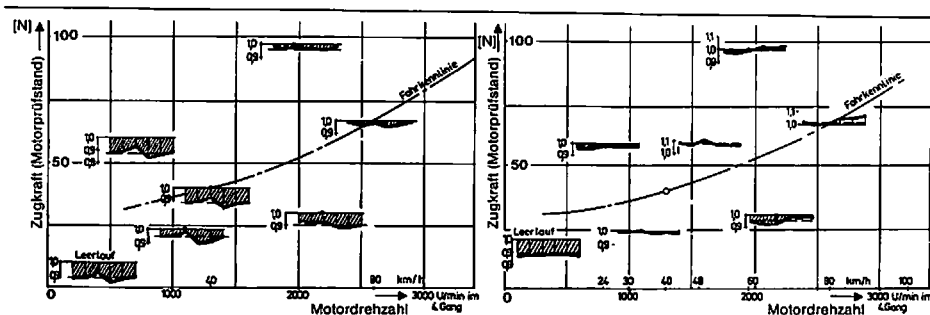


Bild III.2-75: Ungleichmäßige Gemischverteilung an einem 4-Zyl.-Vergasermotor und Nachweis des Einflusses auf das Luftverhältnis durch den an den Saugrohrwandungen entlang fließenden Kraftstofffilm (mittels Schwerkraftmethode), nach [596].

erfolgende, ungleichmäßige Versorgung der beiden Saugleitungspaare für Zylinder 1 und 2 sowie 3 und 4 hauptsächlich vom Kraftstofffilm beeinflusst wird.

Der Einfluß der im Gemischstrom mitfliegenden Kraftstofftropfen hängt von Saugrohr und Zündfolge ab, da z. B. der zuerst ansaugende

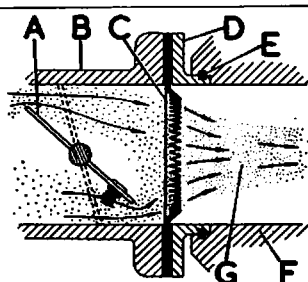
Zylinder nicht alle zu seiner Luftmasse gehörenden Tropfen erhält, die wegen ihrer Massenträgheit hinter der beschleunigten Strömung zurückbleiben. Analoges gilt während des Schließvorganges des Einlaßventiles, wo zwar die Gemischströmung verzögert wird, die einmal beschleunigten Kraftstofftropfen aber weiterhin in Richtung auf den Zylinder fliegen, so daß eine Anreicherung erfolgt.



**Bild III.2-76:** Wirkung einer Ausgleichsleitung im Ansaugsystem eines Mercedes-Benz 2,5/6-Zyl.-Vergasermotors (2-Vergaser-Anlage) aus dem Jahr 1967, [597].

ein. Bild III. 2-76 zeigt die Gemischverteilung im Kennfeld eines Mercedes-Benz 2,5 1/6-Zyl. Vergasermotors aus dem Jahre 1967 vor und nach Einführung einer solchen Ausgleichsleitung.

Aus Sicht der Emissionskontrolle ist das ungleichmäßige Luftverhältnis der verschiedenen Zylinder insofern ein erheblicher Nachteil, da sich Abmagerungsbemühungen stets am magersten Zylinder orientieren müssen und damit bei besonders unterschiedlicher Gemischverteilung diesem sehr einfachen und zugleich wirtschaftlichen Emissionskontrollverfahren sehr früh Grenzen gesetzt sind. Man muß zwar feststellen, daß Saugrohre mit Ausgleichsleitungen schon existierten, als die Emissionskontrolle relevant



- A - Drosselklappe
- B - Vergasergehäuse
- C - „Deflector“ Ring
- D - Adapter
- E - Adapterdichtung
- F - Saugrohr
- G - Gemisch

**Bild III.2-77:** Der „fuel deflector“ am Vergaserflansch des Rover 2000 im Modelljahr 1968 (zur Ablösung des Kraftstofffilms an der Saugrohrwandung), [598].

Wandkraftstofffilms im Saugrohr einen emissionsgünstigeren magereren Motorbetrieb zu ermöglichen. Bild III. 2-77 zeigt den hierzu am Rover 2000 im Modelljahr 1968 serienmäßig eingeführten "fuel deflector", der zwischen Vergaserflansch und Saugrohr angeordnet war. Der Wandfilm sollte am "deflector" aufgleiten und durch Abreißen an den Endkantenzen wieder verwirbelt und vermischt werden. Vorausgesetzt ein neues Niederschlagen an den Wandungen des nachfolgenden Saugrohres wurde tatsächlich vermieden, war durch die Verbesserung der Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder tatsächlich ein magerer Motorbetrieb mit geringeren HC- und CO-Emissionen möglich [599].

Abschließend ist zu diesem Thema noch auf die Bedeutung einer gleichmäßigen Gemischverteilung (d. h. Bereitstellung eines gleichmäßigen Luftverhältnisses  $\lambda$ ) für die verschiedenen Motorzylinder hinzuweisen. Die dadurch erzielbare gleichmäßige Entflammung des Gemisches (von Zylinder zu Zylinder sowie pro Zylinder von Zyklus zu Zyklus) ermöglicht Gleichmäßigkeit des Verbrennungsablaufes, der nach [600] durch den aus dem

Als Abhilfe gegen diese Erscheinung setzte man außer Stufenvergasern mit stark beheizter erster Stufe (bei niedrigen Leistungen) und nicht oder nur gering beheizter zweiter Stufe auch Saugrohre mit Ausgleichsleitungen

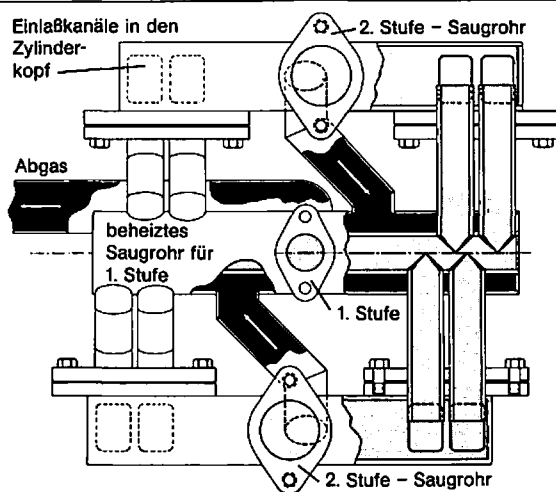
wurde. Da aber eine "abgasoptimierte" Motoreinstellung erst durch Ausgleichsleitungen möglich wird, hätte man spätestens mit dem Auftauchen des neuen Kriteriums "Schadstoffreduktion" Ausgleichsleitungen einführen müssen.

In Ergänzung zu den Überlegungen in [592] sei an dieser Stelle ein interessanter Versuch erwähnt, durch Vermeidung des

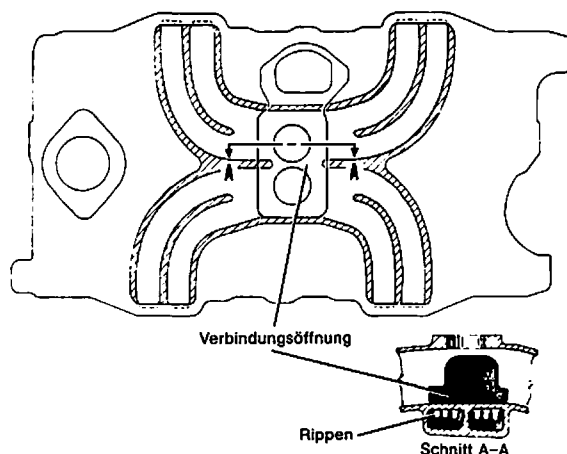
Druckverlauf errechneten Energieumsetzungsverlauf gekennzeichnet werden kann. Gleichmäßigkeit der Energieumsetzung wiederum wirkt sich nicht nur positiv auf die Schadstoffemission sondern auch auf die Laufruhe und den Wirkungsgrad, d. h. die Wirtschaftlichkeit des Motors aus {601, 602, 603}.

#### 2.3.4.2 Saugrohrbeheizung und Gemischvorwärmung

Maßnahmen zur Beeinflussung des dem Brennraum zugeführten Gemisches sind vielseitig und waren besonders in den Jahren vor Einsatz katalytischer Nachverbrennung von Bedeutung.



**Bild III.2-78:** Erfolgreiche Konstruktion eines abgasbeheizten Saugrohres für eine V8-Motor des US-Modelljahres 1965, [605].

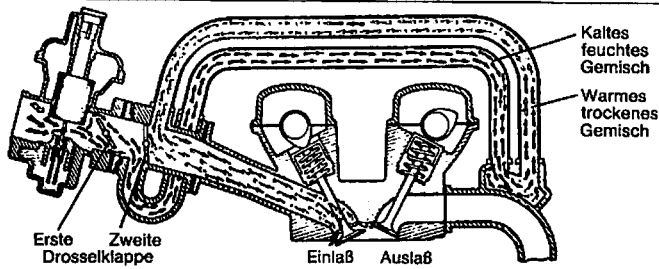


**Bild III.2-79:** Das abgasbeheizte „single plane“ Saugrohr an Chrysler V8-Motoren des Modelljahres 1968, nach [606].

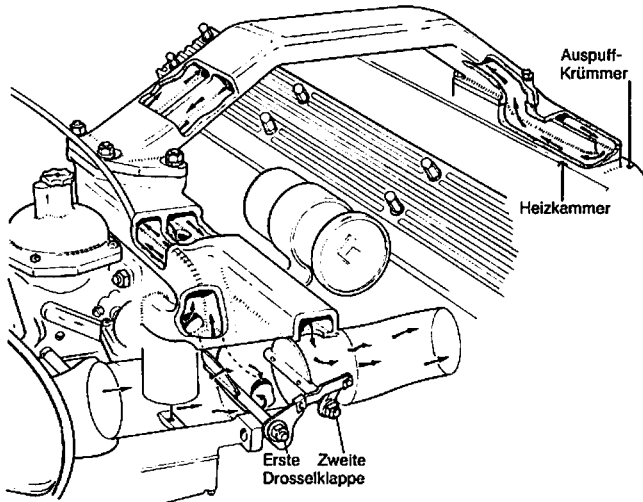
In {604} werden grundlegende Untersuchungen zur Emissionsverbesserung durch Maßnahmen am Saugrohr diskutiert. In Bild III. 2-78 ist eine in dieser Hinsicht erfolgreiche Saugrohrkonstruktion für V-8 Motoren gezeigt. Das Teil besteht aus einem kleinen in der Mitte liegenden Primärsaugrohr von  $\approx 82 \text{ mm}^2$  Querschnitt, das über Verbindungsleitungen von  $\approx 67 \text{ mm}^2$  Querschnitt mit den größeren außenliegenden Sekundärsaugrohren von je  $\approx 1613 \text{ mm}^2$  Querschnitt verbunden ist. Das Gemisch wird über die Wandung des Primärsaugrohres vom Abgas aus beiden Auspuffkrümmern vorgewärmt, wobei es zunächst einen "hot spot" (d. h. eine besonders heiße Stelle) im jeweiligen Sekundärsaugrohr erzeugt, ehe es in die Ummantelung des Primärsaugrohres gelangt. Das Primärsaugrohr ist auf der gesamten Länge ummantelt. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Primärsaugrohr, gute Verdampfung durch ausgiebige Saugrohrbeheizung und Druckausgleich durch die Querverbindungen beider Systeme vermeiden ungleiche Gemischverteilung auf die Zylinder.

Die in {604} gezeigten Möglichkeiten wurden später zur Emissionskontrolle praktisch genutzt. So ist in Bild III. 2-79 ein sogenanntes "single plane"-Saugrohr für V8-Motoren von Chrysler gezeigt. Alle acht Zuleitungen liegen in einer Ebene im Gegensatz zum konventionellen Saugrohr, das die Luftleitungen je Zylinderbank auf einer anderen Ebene zeigt, die auch jeweils nur von einer Hälfte des Vergasers beschickt wird. Daher pulsiert jede Ebene stark im Gegensatz zu dem "single plane"-Saugrohr, dessen

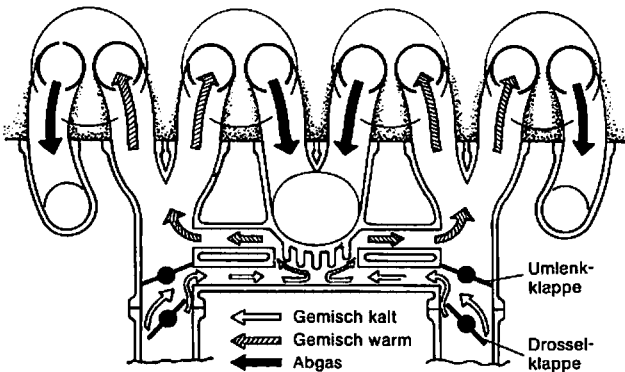




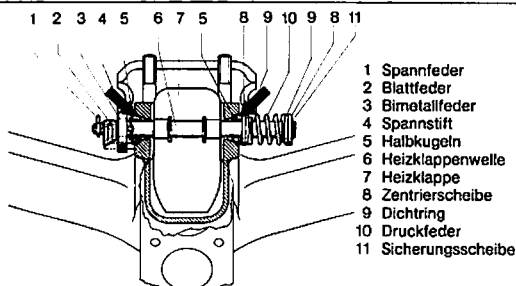
**Bild III.2-80:** Ausführung eines „Duplex“-Ansaugsystems mit abgasbeheiztem Gemisch am Lotus-Elan im Modelljahr 1968, [607].



**Bild III.2-81:** Ausführung eines „Duplex“-Ansaugsystems mit abgasbeheiztem Gemisch am Jaguar-Motor des Modelljahres 1968, [608].



**Bild III.2-82:** Integriert gegossenes Saugrohr nach dem „Duplex“-Prinzip mit abgasbeheiztem Gemisch von Volvo aus dem Modelljahr 1968, nach [609].

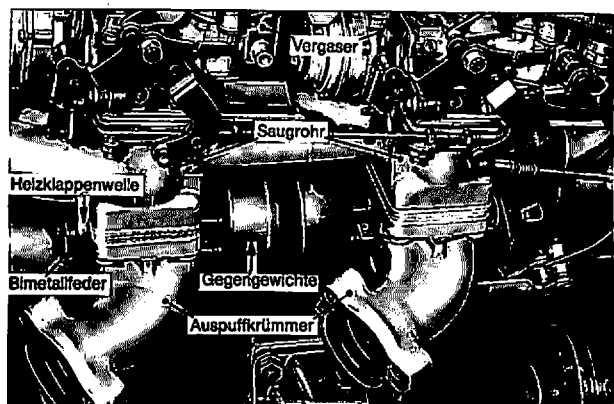


**Bild III.2-83:** Gemischvorwärmung am Mercedes-Benz 2.3 l/4-Zyl. Vergasermotor des US-Modelljahres 1974, mit direkt auf den Auspuffkrümmer geflanschem Saugrohr, [611].

acht Luftleitungen aus dem gleichen Volumen abgeführt werden. Dabei wird zwar die Pulsationsfrequenz verdoppelt, die Höhe der Schwingungen jedoch deutlich verringert, wodurch sich wiederum gleichmäßigere Gemischverteilung auf die Zylinder und eine (in diesem Fall) 10%ige HC-Senkung ergab [606].

Ein weiteres charakteristisches Ausführungsbeispiel von Saugrohren mit Gemischvorwärmung ist das in Bild III. 2-80 gezeigte Einlaßsystem des Lotus-Elan, wie es im Modelljahr 1968 eingesetzt wurde. Während des Motorwarmlaufs verschloß die zweite Drosselklappe den direkten Weg für das Gemisch zum Einlaßventil und leitete es wegen des Querstromkopfes zunächst durch die im Bild gezeigten langen Kanäle über den Motor hinweg zur Auslaßseite. Hier erwärmte sich das Gemisch an der heißen Auspuffkrümmerwand und gelangte dann wieder oberhalb des Motors zurücklaufend hinter der zweiten Drosselklappe ins Saugrohr und den Einlaßkanal des Zylinderkopfes. Eine sehr ähnliche Anlage, die in Bild III. 2-81 gezeigt ist, verwendete Jaguar im Modelljahr 1968 serienmäßig, wobei am 4.2 l-Motor auch mit einer wasserbeheizten Version experimentiert wurde.

Ähnlich dem Lotus-Verfahren, d. h. ebenfalls mit einer zweiten Drosselklappe zur Umleitung des Gemisches an abgasbeheizte "hot spots", arbeitete auch das in Bild III. 2-82 gezeigte integriert gegossene Saugrohr von Volvo, dessen Entwicklung ausführlich in [610] beschrieben ist. Lediglich der Umweg des Gemisches zum "hot spot" war kürzer und unkomplizierter als beim Lotus und ähnelt mehr der nachfolgend beschriebenen Daimler-Benz Anordnung.



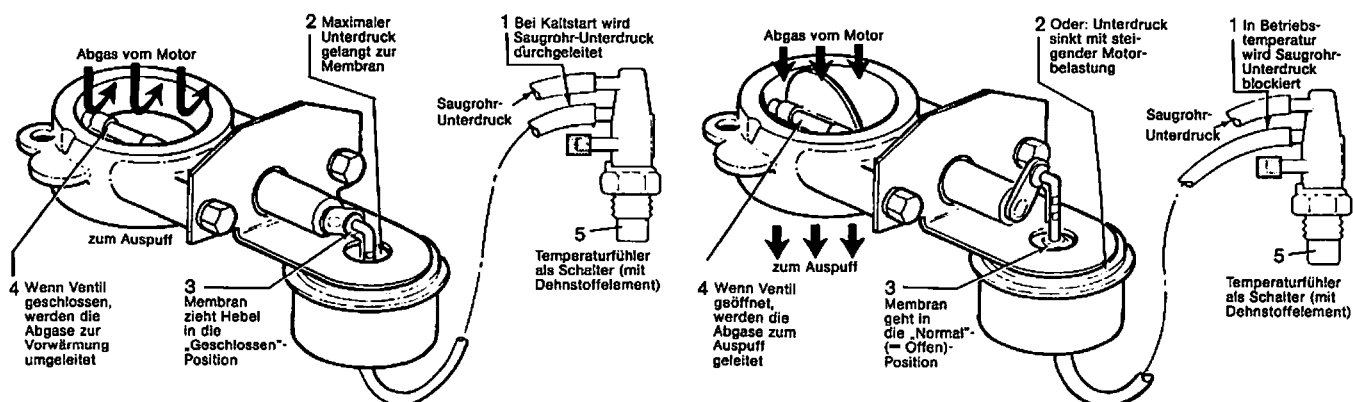
Eine wesentlich einfachere Gemischvorwärmung als bei den zuvor genannten Verfahren war dagegen bei den Mercedes-Benz 4- und 6-Zyl. Motoren möglich, bei denen Saugrohr und Auspuffkrümmer auf der gleichen Seite des Zylinderkopfes angeordnet waren. Bild III. 2-83 zeigt die Gemischvorwärmung am Mercedes-Benz 4-Zyl. Vergasermotor, wie sie zur Standardausrüstung dieses Motors bis zu seinem Ausscheiden aus dem Verkaufsprogramm (nach Modelljahr 1978)

eingesetzt wurde. Die Zuleitung der Abgaswärme

**Bild III.2-84:** Außenansicht der mit Bimetallfedern und Gegengewichten gesteuerten Heizklappenanordnung zur Gemischvorwärmung am Mercedes-Benz 2,8 l/6-Zyl.-Vergasermotor des US-Modelljahres 1972 mit direkt auf die Auspuffkrümmer geflanschten Saugrohren, [612].

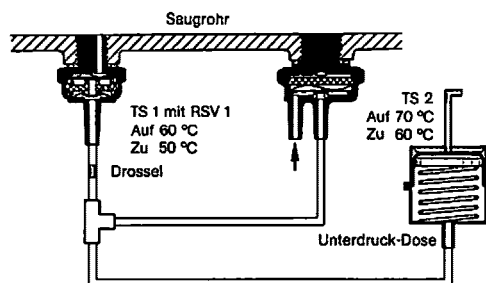
zum "hot spot" erfolgte über eine bimetallfedergesteuerte Auspuffklappe. Eine im Prinzip gleiche Anordnung wurde an den Mercedes-Benz 6-Zyl. Vergasermotoren verwendet, wie es in Bild III. 2-84 als Außenansicht gezeigt ist.

Eine Abwandlung der obengenannten Auspuffklappensteuerung wurde von General Motors im Modelljahr 1968 am Chevrolet V-8 Motor unter der Bezeichnung "Early Fuel Evaporation" (EFE)-System eingesetzt. Die hier verwendete Abgasklappe zwischen Auspuff und Auspuffkrümmer wurde auch von Ford ab Modelljahr 1975 verwendet, sie hatte hier jedoch die Bezeichnung "Vacuum Exhaust Heat Control Valve" (VHC). In Bild III. 2-85 ist die Anordnung der mittels Saugrohrunterdruck betätigten Abgasklappe mit der bei Ford verwendeten Ansteuerung dargestellt. Der Saugrohrunterdruck als Betätigungsgröße der Klappe wird wiederum von einem "Thermo Valve Switch" (TVS), d. h. einem



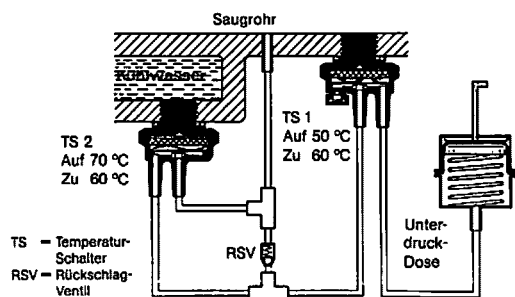
**Bild III.2-85:** Die saugrohrunterdruck-gesteuerte Abgasklappe zur Gemischvorwärmung von GM aus dem US-Modelljahr 1968, genannt „Early Fuel Evaporation“ (EFE)-System, sowie bei Ford im US-Modelljahr 1975 genannt „Vacuum-Operated Exhaust Heat Control Valve“ (VHC), nach [613].

im Kühlwasser angeordneten Unterdrucksteuerventil zugeleitet oder abgesperrt. Durch Schließen der Auspuffklappe bei kaltem Motor mittels des gegen eine Feder in der Klappenkonstruktion wirkenden Saugrohrunterdruckes wurde das Abgas durch eine Querverbindung im Saugrohr direkt unter dem Vergaser vorbei in den Auspuff an der V-Reihe des Motors (V-8 Motor) gezwungen. Sobald das Kühlwasser eine bestimmte Temperatur hatte, wurde über das Thermoventil der Saugrohrunterdruck von der Klappeneinheit abgeschaltet, die obengenannte Feder konnte die Klappe wieder öffnen und dem Abgas den normalen Weg zum Auspuff freigeben.



Obwohl Saugrohr- und Gemischvorwärmung als Mittel zur Emissionskontrolle in Ländern mit Katalysator-technik an Bedeutung verloren haben und mehr der Verbesserung des Fahrverhaltens im Warmlauf dienen, ist der emissionskontrollbezogene Wert einer schnellen Warmlaufphasenüberbrückung in Ländern ohne Katalysatoranwendung nach wie vor sehr hoch.

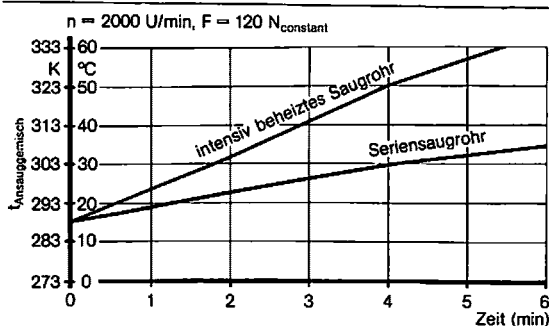
So hat z. B. in der Bundesrepublik Deutschland Pierburg innerhalb eines im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie durchgeführten Forschungsvorhabens ein intensiv beheiztes Saugrohr für Vergasermotoren entwickelt [614]. Die Steuerung der Gemischtemperatur ist in Bild III. 2-86 schematisch dargestellt. Die Anpassung des zur Aufheizung benutzten Abgasvolumens erfolgt, ähnlich dem in den GM- und Ford-Beispielen genannten



**Bild III.2-86:** Steuerung des von Pierburg entwickelten intensiv beheizten Saugrohres, nach [615].

EFE/VHC-Ventilen, durch eine Stauklappe im Auspuffsystem, die je nach Stellung einen mehr oder weniger großen Abgasstrom zu den wärmeübertragenden Flächen des Saugrohres (möglichst alle Wandungen unter dem Vergaser) leitet. Bei geschlossener Klappe ist nur eine Grundheizung vorhanden. Die Steuerung erfolgt dabei abhängig vom Temperatur- und Lastzustand des Motors.

Der Temperaturzustand des Ansaugsystems wird erfaßt durch die Saugrohrwandtemperatur an einer ausgesuchten Stelle, die in einem ausreichend guten Zusammenhang mit der Gemischtemperatur steht. Bei einer zweiten Ausführungsart wird zusätzlich die Kühl-



**Bild III.2-87:** Wirkung der von Pierburg entwickelten intensiven Saugrohrbeheizung zur Gemischvorwärmung im Vergleich zu einem unbeheizten Saugrohr, nach [615].

wassertemperatur zur Steuerung verwendet.

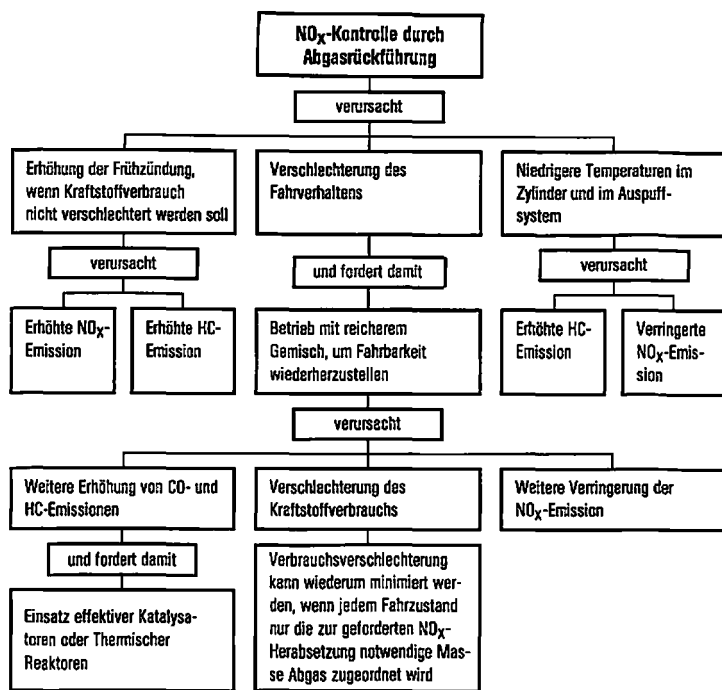
Bei betriebswarmem Motor erfolgt die Klappensteuerung in beiden Fällen rein lastabhängig, wobei die Klappe bei Überschreiten einer bestimmten Saugrohrwandtemperatur zum Vermeiden einer Gemischüberheizung voll geöffnet wird. Als Signal für den Lastzustand des Motors wird der Saugrohrunterdruck her-

angezogen, mit dem gleichzeitig über eine Unterdruckdose die Stauklappe betätigt wird. Die Abstimmung der Rückstellfeder zum anliegenden Saugrohrunterdruck ergibt die gewünschte

Lastabhängigkeit. In Bild III.2-87 ist die Wirkung dieser Intensivbeheizung anhand der über der Zeit erreichten Gemischtemperatur dargestellt.

#### 2.3.4.3 Abgasrückführung

Von den bekannten Möglichkeiten zur  $\text{NO}_x$ -Senkung stellt die Abgasrückführung inzwischen eine konstruktiv beherrschte und sehr wirksame Methode dar. Den heutigen EGR ("Exhaust Gas Recirculation")-Anlagen ist jedoch nicht mehr anzusehen, welcher Ent-



**Bild III.2-88:** Möglichkeiten und Nebeneffekte bei Einsatz von Abgasrückführung zur Kontrolle der NO<sub>x</sub>-Emission im Abgas von Otto-Motoren, nach [616].

Unterstützung der Wirkung der damals noch kontinuierlich rückgeführten Abgasmenge zusätzlich Spätzündung eingesetzt und ein 50.000 Meilen Dauerlauf erfolgreich, d. h. ohne Probleme am EGR-System, absolviert [617]. Etwa zur gleichen Zeit, d. h. Ende 1970, wurde bei Daimler-Benz einer der ersten 4,5 l/V8 (Einspritz-)Motoren erfolgreich mit EGR (in Verbindung mit einem "reichen" Reaktor) getestet, wobei die rückgeführte Abgasmasse  $\approx 4$  bis 5 % der angesaugten Luftmasse betrug. Anfang 1971 wurde das gleiche Prinzip auch auf einen 6-Zyl. Motor übertragen, wobei dieser Motor einen Rückführungsanteil von 6 bis 20 % benötigte. Sein EGR-System beinhaltete erstmals ein saugrohrunterdruckgesteuertes EGR-Ventil [617].

- Bestimmung der pro Saughub notwendigen rückgeführten Abgasmasse
- Entwicklung eines Systems, das die rückgeführten Abgase soweit wie möglich kühlt
- Entwicklung haltbarer Abgasrückführungsventile mit mechanischer, elektro-mechanischer oder pneumatischer Ansteuerung
- Bestimmung des günstigsten Punktes im Saugrohr von Vergaser- oder Einspritzmotoren, an dem das rückgeführte Abgas einzuleiten ist
- Entwicklung von korrosionsfreien Materialien für die Abgasrückführungsleitungen
- Erzielung guten Fahrverhaltens durch Steuerung der Abgasrückführung in Abhängigkeit von Motoröltemperatur, Wassertemperatur und Saugrohrunterdruck
- Aufrechterhaltung eines ausreichenden Unterdruckniveaus für den im Fahrzeug befindlichen Unterdruckverstärker (Bremsel) trotz Einbau von Abgasrückführungssystemen (dieses Ziel konnte oft nur durch zusätzlichen Einbau einer Unterdruckpumpe erreicht werden!)

**Bild III.2-89:** Arbeitsziele des konzentrierten Daimler-Benz Entwicklungsprogramms für Abgasrückführungskonzepte für PKW mit Otto-Motoren aus dem Jahre 1971, nach [617].

Dies führte zur konzentrierten und umfassenden Planung von EGR-Systemen bei Daimler-Benz ab etwa Anfang 1971. Die in diesem systematischen Programm festgelegten Arbeitsziele sind in Bild III. 2-89 zusammengestellt.

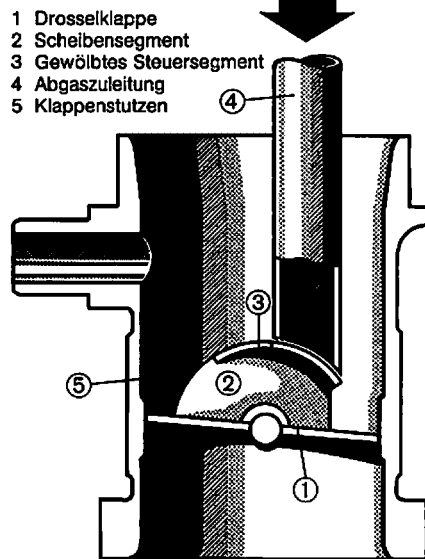
Die EGR-Ventile der zuvor genannten ersten Entwicklungsstufe beruhten auf dem Prinzip von Drehschiebern. Bild III. 2-90 zeigt eine Versuchsausführung am Klappenstutzen eines Einspritzmotors. Auf die Drosselklappe (1) war ein vertikales Scheibensegment

wicklungsaufwand erforderlich war und welche Probleme es zu überwinden galt, ehe dieser technologische Status erreicht wurde. Auch brachte die Abgasrückführung nicht nur die gewünschte Absenkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen, sondern ebenso negative Effekte mit sich, wie es Bild III. 2-88 andeutet.

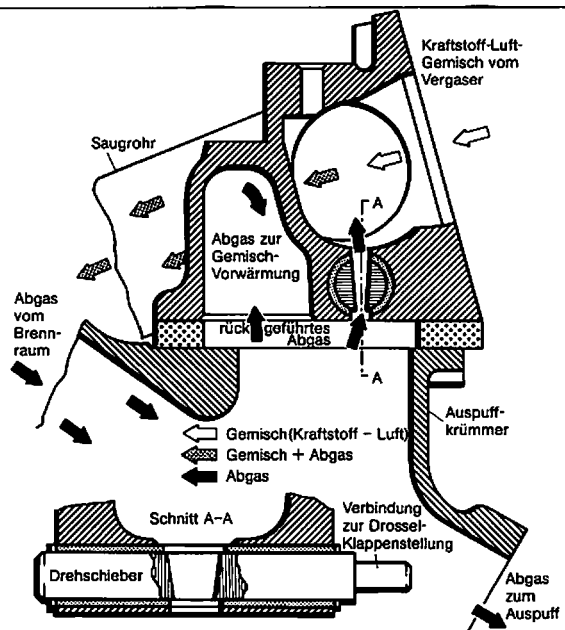
Erste Grundlagenuntersuchungen zur EGR wurden bei Daimler-Benz schon im Jahre 1966 durchgeführt, so daß bereits 1969 ein 2.2 l/4-Zyl. Vergasermotor mit einem experimentellen EGR-System die damals für Modelljahr 1973 geplanten kalifornischen NO<sub>x</sub>-Standards erfüllen konnte. Hierzu wurde zur Un-

terdruckgesteuertes EGR-Ventil [617].

Nach diesen ersten bezüglich einer NO<sub>x</sub>-Senkung recht positiv verlaufenen Testversuchen traten immer stärker negative Einflüsse der EGR in den Vordergrund, wie z. B. Drehmomentverlust des Motors, Verschlechterung des Fahrverhaltens, Erhöhung des Kraftstoffverbrauches sowie Temperaturprobleme besonders an den EGR-Ventilen.



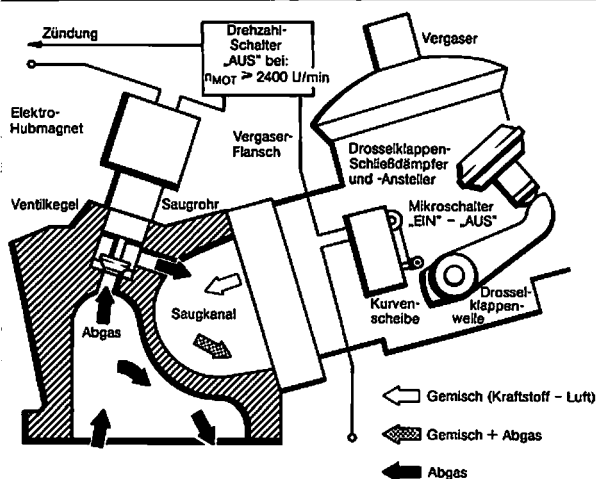
**Bild III.2-90:** Beispiel aus der Zeit der ersten Versuche mit Abgasrückführung: Schiebergesteuerte Abgaseinleitung in den Klappenstutzen eines Einspritzmotors, [617].



**Bild III.2-91:** Beispiel aus der Zeit der ersten Versuche zur Abgasrückführung: schiebergesteuerte Abgaseinleitung in das direkt auf den Auspuffkrümmer geflanschte Saugrohr eines 4-Zyl.-Vergasermotors von Daimler-Benz, [617].

(2) und an dieses wieder ein gewölbtes Scheibensegment (3) geschweißt. Das gewölbte Segment (3) war zur vertikalen Befestigung hin abgeschrägt und gab beim Öffnen der Drosselklappe einen zur Vollast hin zunehmenden Öffnungsquerschnitt der Abgasrückführungsleitung (4) frei. Im Leerlauf war die Leitung (4) verschlossen.

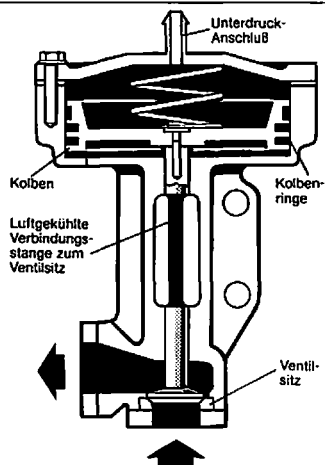
Eine weitere Ausführungsform des Drehschieberprinzips ist in Bild III. 2-91 am Beispiel eines Mercedes-Benz 4-Zyl. Vergasermotors gezeigt. Bei diesem Motor ist das Saugrohr direkt auf den Auspuffkrümmer geflanscht, so daß man durch eine Bohrung die abgas- und die gemischführenden Kanäle miteinander verbinden konnte. Diese Bohrung konnte von der im Bild gezeigten Welle voll geöffnet oder geschlossen werden, wobei dieser Drehschieber durch mechanische Kopplung in direkter Abhängigkeit von der Drosselklappenstellung betätigt wurde. Im Leerlauf und bei Vollast war die EGR abgeschaltet, in den Beschleunigungsphasen des (damals gültigen) Kalifonientests erfolgte maximale Abgasrückführung. Es gelang zwar schließlich, für diese Drehschieberaus-



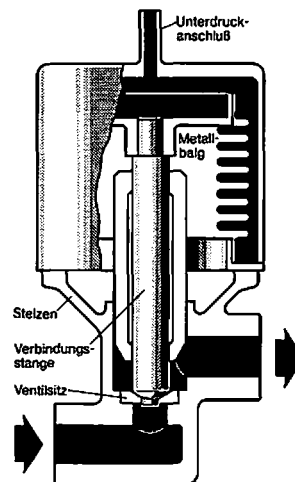
**Bild III.2-92:** Beispiel aus der Zeit der ersten Versuche zur Abgasrückführung: Einleitung des Abgases mittels eines drehzahl- und lastabhängig angesteuerten Elektromagnetventils an einem mit dem Auspuffkrümmer verbundenen Saugrohr eines Mercedes-Benz 2.2 l/4-Zyl.-Vergasermotors, nach [617].

führungen Materialien mit ausreichender Temperaturbeständigkeit zu finden, die mit einer derartigen Mechanik erreichbaren Zumessungscharakteristiken waren jedoch unbefriedigend.

Als zweiter Entwicklungsmeilenstein wurden elektromagnetische Konusventile untersucht. Bild III. 2-92 stellt eine solche Anordnung dar. Wenn sich die Drosselklappe aus der im Bild dargestellten Leerlaufstellung bewegte, wurde über die an der Drosselklappenwelle befestigte Kurvenscheibe der Mikroswitch betätigt (Lastsignal). Dieser aktivierte den



**Bild III.2-93:** Versuchsausführung eines von Daimler-Benz erprobten pneumatisch angesteuerten Abgasrückführungs-Ventils mit Kolben statt Membran und Luftkühlung, [617].

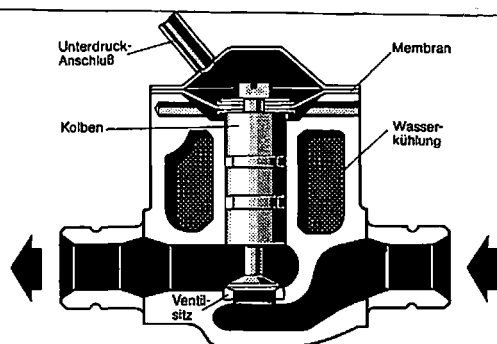


**Bild III.2-94:** Versuchsausführung eines bei Daimler-Benz erprobten pneumatisch angesteuerten Abgasrückführungsventils mit Metallbalg statt Membran und Luftkühlung, [617].

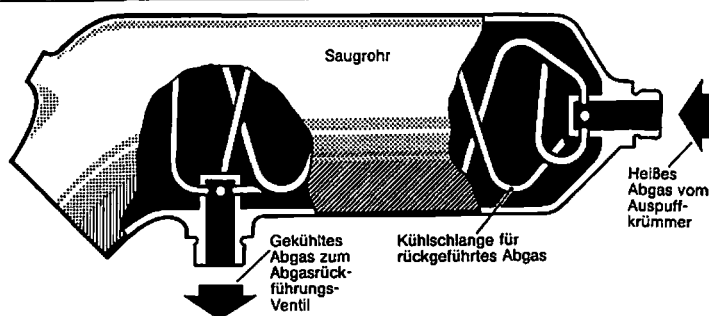
Drehzahlwechsler, der unterhalb von 2.400 U/min Motordrehzahl den Hubmagnet ansteuerte, so daß Abgas über den stets durch vollen Hub des Magnetventil-Konus freigegebenen Kanalquerschnitt ins Saugrohr gelangen konnte. Wegen der hohen Ausfallrate dieses Systems (Temperaturempfindlichkeit des Elektromagnetventils) mußte auch dieses Verfahren als nicht erfolgreich beendet werden.

In der dritten Entwicklungsstufe gelang es schließlich, die zuvor schon erwähnten saugrohrunterdruckgesteuerten Membranventile zur Bemessung der Abgasrückführungsrate haltbar einzusetzen, wobei die beiden Wege: Entwicklung temperaturfester Membranmaterialien und Entwicklung von Kühlsystemen für das Abgas oder das Ventilgehäuse parallel untersucht wurden. Einige Versionen solcher Entwicklungen seien nachfolgend weitergegeben.

Zunächst zeigt Bild III. 2-93 ein Ventil, bei dem die temperaturanfällige Membran durch einen Kolben ersetzt wurde. Das in Bild III. 2-94 dargestellte Ventil verwendet eine Metallmembran, die zwar ebenfalls das Temperaturproblem löst, aber recht kompliziert ist. Schließlich wurden auch wassergekühlte Ventilgehäuse eingesetzt, wie Bild III. 2-95 zeigt. Ergänzend zu den Maßnahmen am Ventil selbst fanden Versuche auch mit einer Kühlung des rückgeführten Abgases vor Eintritt in das Ventil statt. Hierbei lag die Rückführungsleitung entweder als Kühlschlange vor dem Fahrzeugkühler oder - wie in Bild III. 2-96 dargestellt - als Kühlschlange im Saugrohr. Die hier genannten Versuche ergaben zwar positive Resultate, mußten jedoch wegen unannehmbaren

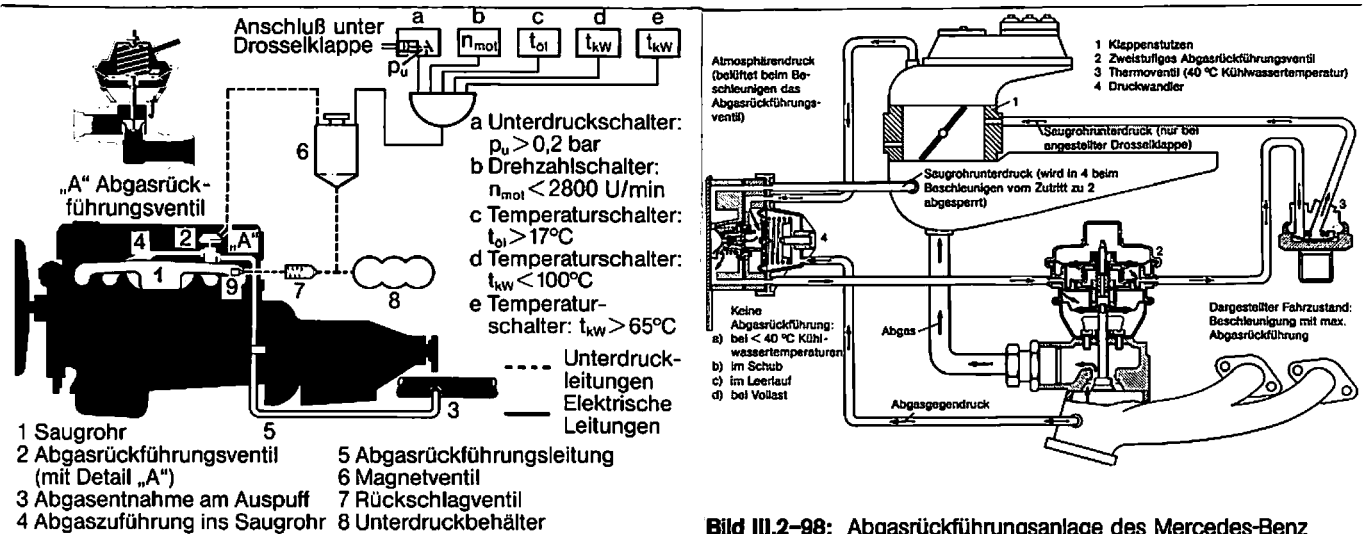


**Bild III.2-95:** Versuchsausführung eines von Daimler-Benz erprobten pneumatisch angesteuerten Abgasrückführungsventils mit Wasserkühlung, [617].



**Bild III.2-96:** Versuchsausführung einer von Daimler-Benz erprobten Kühlung der rückgeführten Abgase durch Verlegung der Rückführungsleitung im Saugrohr eines Einspritzmotors, [617].

Bauaufwandes und Verkomplizierung des gesamten Systems schließlich aufgegeben werden. Nur die Kombination von temperaturbeständigen Membranmaterialien aus Kunststoff und einfache Kühlung des ankommenden Abgases (z. B. durch lange Leitungen von der Entnahmestelle am Auspuff bis zum Ventil) blieben eine realistische Lösung.



**Bild III.2-97:** Aufbau und Steuerung der am Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl.-Vergasermotor erstmals im Modelljahr 1973 eingesetzten Abgasrückführung (mit Kühlung des Abgases vor Eintritt in das Steuerventil durch lange Rückführleitung), [618].

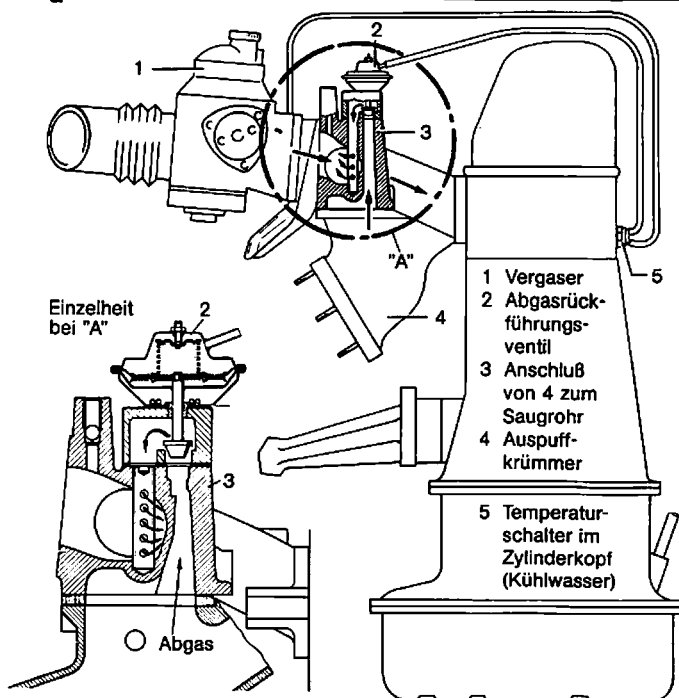
**Bild III.2-98:** Abgasrückführungsanlage des Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl. Einspritzmotors aus dem US-Modelljahr 1977 mit direkt auf den Auspuffkrümmer geflanschem zweistufigen Abgasrückführventil und Verwendung eines Druckwandlers zur abgasgegendruckabhängigen Steuerung dieses Ventils, [619].

Eine solche, erstmals im Modelljahr 1973 serienmäßig eingesetzte Ausführung ist in Bild III.2-97 am Beispiel des Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl. Vergasermotors gezeigt. Die EGR wurde an diesem Motor in Abhängigkeit von den Motorbetriebszuständen wie folgt gesteuert: EIN bei  $t_{\text{ol}} > 17^\circ\text{C}$  und  $65^\circ\text{C} < t_{\text{kw}} < 100^\circ\text{C}$  und  $0 < p_u < 0,2 \text{ bar}$  Unterdruck. AUS bei  $t_{\text{ol}} < 17^\circ\text{C}$  oder  $t_{\text{kw}} < 65^\circ\text{C}$  oder  $t_{\text{kw}} > 100^\circ\text{C}$  oder  $p_u > 0,2 \text{ bar}$  oder ( $n_{\text{mot}} > 3200 \text{ U/min}$  im Bereich  $t_{\text{ol}} > 17^\circ\text{C}$  und  $65^\circ\text{C} < t_{\text{kw}} < 100^\circ\text{C}$  und  $0 < p_u < 0,2 \text{ bar}$ ). Wiedereinschalten der EGR erfolgte bei sonst gleichen Randbedin-

gungen erst, wenn die Motordrehzahl unter  $2800 \text{ U/min}$  absank.

Später gelang es, durch konstruktive Trennung des heißen Ventils (Ventilsitz und Abgasstrom) vom eigentlichen Steuerteil (Membranraum mit Steuerdruckanschluß) eine standfeste Lösung zu erreichen. Dieses Verfahren ermöglichte sogar die direkte Montage des EGR-Ventils auf dem Auspuff, wie es am Beispiel eines 6-Zyl.Einspritzmotors aus dem Modelljahr 1977 mit einem 2-Stufen Ventil in Bild III.2-98 gezeigt ist.

Das 2-Stufen Ventil wird hierbei durch den Saugrohrunterdruck und den Drosselklappenwinkel angesteuert. Der Durch-



**Bild III.2-99:** Abgasrückführungsanlage am Mercedes-Benz 2.3 l/4-Zyl. Vergasermotor des US-Modelljahres 1977 mit last- und kühlwassertemperaturabhängig-gesteuertem einstufigen Membranventil, [620].

Zeitraum	Entwicklung	Probleme
1966 bis 69	Grundlagen-Untersuchungen. Methoden der Entnahme und Zuführung	Werkstoffe und Werkstoffpaarungen (Hitzebeständigkeit)
1969 bis 70	Erste fertige Ausführungen an Motoren im Abgastest	Unzulänglichkeit der EGR-Zumessung
1970	EGR-Ventile mit Magnetventil- und Membranbetätigung	Temperaturbeständigkeit des Magnetventils nicht ausreichend. Membranmaterial nur bis 150 °C funktionssicher
1971	EGR-Ventile mit Metallmembran; wassergekühlte Ventile; Ventile mit Kolben, Trennung Ventilsteuerteil von Ventilarbeitsteil (Langschaft, Stelzen)	Metallmembran hitzebeständig aber zu teuer; bei Wasserkühlung Probleme wenn Wasser unter Druck und bei Leckagen, Funktion gut aber Bauaufwand hoch
1972 bis 73	EGR-Ventile mit verbessertem Membranmaterial und in Stelzenausführung; 1- und 2-Stufen-Ventile mit verschiedenen Ansteuerungen (Saugrohrunterdruck, Druckdifferenz zum Auspuff)	Membranmaterial jetzt hitzebeständig, Stelzenausführungen bewähren sich; Ansteuerung und Erzielung der gewünschten Zumessung bereiten noch Probleme
1974	Verbesserung der Ansteuerung der Modelljahr-1973-Ausführungen zum Einsatz für die Modelljahre 1975 bis 77	Nach Aufschub des zunächst für Modelljahr 1972 geplanten EGR-Einsatzes (aufgrund obiger Probleme) Systeme ab Modelljahr 1973 funktionsfähig und haltbar

**Bild III.2-100:** Meilensteine und Probleme bei der Entwicklung von Abgasrückführungssystemen („Exhaust Gas Recirculation“, EGR) für Mercedes-Benz Fahrzeuge mit Otto-Motoren, nach [617].

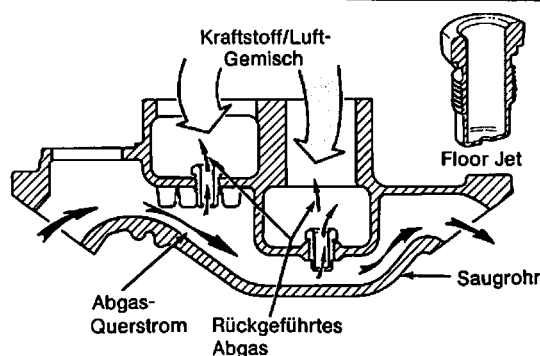
fluß konnte damit bei hohem Saugrohrunterdruck und kleinen Drosselklappenwinkeln durch die 1. Stufe reduziert werden. Bei Beschleunigungen und großen Drosselklappenwinkeln erlaubte die 2. Stufe eine erhöhte Abgasrückführung.

Als Ergänzung und Abschluß zu den eingangs beschriebenen ersten Prinzipversuchen am Mercedes-Benz 4-Zyl. Vergasermotor ist in Bild III.2-99 die an einem 2.3 l/4-Zyl.

Vergasermotor im Modelljahr 1977 eingesetzte EGR mit einem last/kühlwassertemperatur-gesteuerten 1stufigen Membranventil dargestellt. In Bild III.2-100 sind noch einmal die wesentlichsten Schritte und zu überwin-

denden Schwierigkeiten bis zur Entwicklung von dauerhaltbaren EGR-Systemen bei Daimler-Benz zusammengefaßt. Daimler-Benz plante "externen" EGR-Einsatz zunächst für Modelljahr 1972, wobei die für dieses Modelljahr gültigen NO<sub>x</sub>-Standards jedoch noch durch motor-"interne" Abgasrückführung (Ventilüberschneidung) und Spätzündungsmaßnahmen erreicht werden konnten. So wurde schließlich erstmals im Modelljahr 1973 an allen 4- und 6-Zyl. Motoren Abgasrückführung zur NO<sub>x</sub>-Kontrolle verwendet.

Im Prinzip setzten alle Automobilhersteller EGR-Systeme ein, die ähnlich den bei Daimler-Benz gezeigten Versionen aufgebaut waren. Zu den obengenannten auf Daimler-Benz bezogenen Angaben seien daher noch einige Ausführungsformen anderer Hersteller ergänzt. So verwendete Toyota z. B. am Kalifornienmotor des Modelljahres 1973 ein EGR-System, das eine spezielle Kühlvorrichtung für das zurückgeführte Abgas vor Eintritt in das EGR-Ventil aufwies. Hierzu wurde am hinteren Auspuffkrümmerteil Abgas

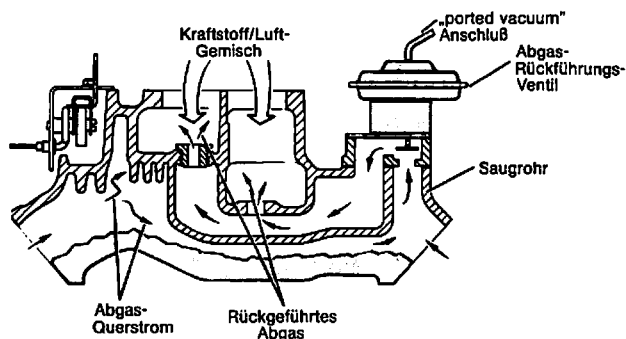


**Bild III.2-101:** Das „floor jet“ Abgas-Rückführungssystem von Chrysler aus dem Modelljahr 1972, [621].

entnommen, zu einem Rippenkühler am Motor hinter dem Ventilator vorgeführt und von dort durch eine ebenfalls mit Kühlrippen versehene Leitung zum EGR-Ventil geleitet.

Bei den amerikanischen Herstellern wurden oft an den V8-Motoren EGR-Kanäle direkt ins Saugrohr eingegossen. Eine solche Anordnung mit einfachster ungesteuerter Abgasrückführung ist in Bild III.2-101 am Beispiel einer Lösung von Chrysler aus dem Modelljahr 1972 gezeigt. Dieses sogenannte "floor jet"-





**Bild III.2-102:** Das „ported vacuum“ Abgasrückführungs-System von Chrysler aus den Modelljahren 1972 bis 1974, [622].

System führte in allen Motorbetriebszuständen Abgas zurück. Direkt unter jeder ersten Vergaserstufe waren Bohrungen angebracht, die das Saugrohr mit der Abgasquerleitung verbunden. In diese Bohrungen waren die mit kalibrierten Bohrungen versehenen "floor jets" aus rostfreiem Stahl eingeschraubt.

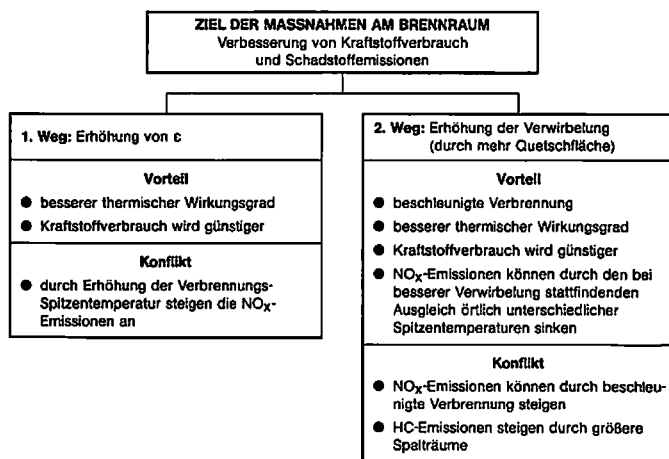
Ein verfeinertes System verwendete Chrysler im Modelljahr 1972 mit der sogenannten "ported vacuum EGR", die in Bild III. 2-102 gezeigt ist. Das auf dem Saugrohr befestigte EGR-Ventil war mit Unterdruck beaufschlagt, der von einer oberhalb der Drosselklappe befindlichen Bohrung abgenommen wurde. Im Leerlauf herrschte an dieser Bohrung kein Unterdruck, das EGR-Ventil blieb geschlossen. Bei allen sonstigen Fahrzuständen wurde Abgas zurückgeführt. Zusätzlich griff bei dieser Anlage ein Temperaturschalter in die Steuerung ein, der bei Temperaturen  $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  die Unterdruckleitung zum EGR-Ventil belüftete. Da die Membran des Ventils unter Federdruck stand, war das Ventil ohne Unterdruck stets geschlossen.

Nachdem die Abgasrückführungssysteme mit hohem Kostenaufwand während eines langen und schwierigen Weges zur dauerhaltbaren effektiven Serienausführung entwickelt werden konnten, ist zumindest für den USA-Markt bereits das Ende ihres Einsatzes gekommen: Bei den ab Modelljahr 1980 eingeführten selektiven oder Dreiweg-Katalysatoren mit  $\text{O}_2$ -Sonde im Auspuffstrang erübrigt sich Abgasrückführung als  $\text{NO}_x$ -Kontrollmaßnahme wie in Kap. 2.5.3.4 näher erläutert wird.

## 2.4 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff:

### Eingriffe im Brennraum

Bei der Betrachtung der Vorgänge im Brennraum eines 4-Takt Pkw-Motors zeigen sich besonders deutlich die bei dem Bemühen, ein leistungsstarkes, wirtschaftliches und



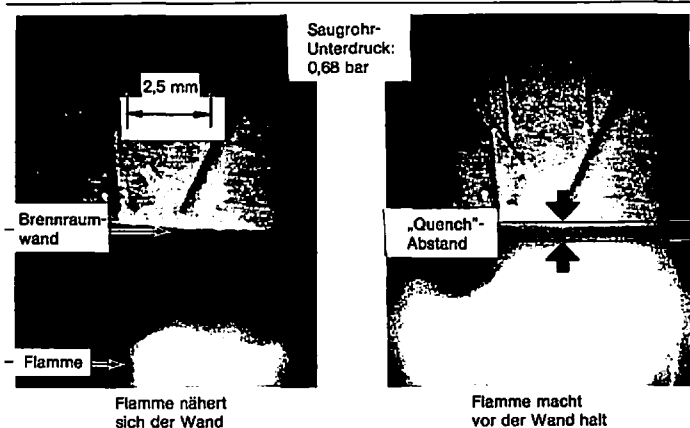
**Bild III.2-103:** Zielkonflikte bei Maßnahmen am Brennraum am Beispiel zweier Änderungen zur Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs.

trotzdem schadstoffemissionsarmes Triebwerk zu realisieren, auftretenden Probleme. Die Tendenzen sind – im Gegensatz zu den Vor-Brennraum-Maßnahmen, deren Gestaltung sowohl Leistung, Fahrverhalten, Wirtschaftlichkeit und Emissionen gleichsinnig positiv beeinflussen (z. B. durch Kraftstoffabschaltung, gleichmäßige Gemischverteilung, gute Gemischaufbereitung etc.) – im Brennraum in wesentlichen Punkten gegenläufig. Diese Interessenkollision ist in Bild III. 2-103 aufgezeigt. Die

dargestellten Zusammenhänge – besonders die Gegenläufigkeit von  $\text{NO}_x$ -Kontrolle durch Maßnahmen am und im Brennraum und Einfluß auf den Kraftstoffverbrauch haben in der ersten Dekade der Emissionskontrollbemühungen in den USA zu den (nicht erst seit den Ölkrise von 1973 und 1979 unter massiver Kritik stehenden) Irrwegen und Fehlern bei der oft hektisch erzwungenen Erfüllung der entsprechenden Emissionskontrollgesetze geführt.

#### 2.4.1 Brennraumform und "Quench"-Erscheinungen

Konzentrationen unverbrannter Kohlenwasserstoffe entstehen im Abgas bei Leerlauf, Konstantfahrt und Beschleunigung aus der Erscheinung des sogenannten "wall quenching" sowie im Schiebebetrieb des Motors, wenn der bei dem in diesem Zustand vorhandene Saugrohrunterdruck durch Restgasverdünnung entflammungsunfähiges Gemisch erzeugt. Im Falle des "wall quenching" erlischt, wie schon in Teil I, Kap. 2.3.6 erläutert,



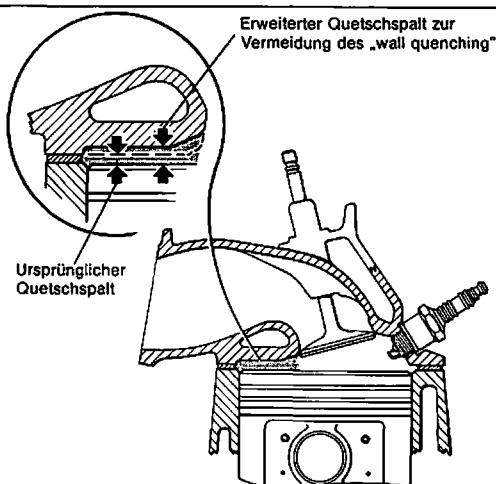
**Bild III.2-104:** Flammenfotos im Brennraum zur Darstellung des „wall quenching“ („Haltmachen“ einer Flamme kurz vor der Brennraumwand), [623].

Nun wiesen aber gerade leistungsstarke und verbrauchsoptimierte Motoren vor Einsatz der Emissionskontrollgesetze Brennräume auf, die durch enge Quetschflächen bestimmte Verwirbelungen und Gemischbeeinflussungen vor und bei der Verbrennung im Brennraum bewirkten. Farbfilm-aufnahmen mit Hochgeschwindigkeitskameras zeigten zwar die beabsichtigte Wirksamkeit dieser Quetschzonen, wiesen jedoch ebenfalls darauf hin, daß enge Quetschzonen durch Flammenerlöschung eine Quelle unverbrannter Kohlenwasserstoffe darstellten. Die im Hauptbrennraum vorherrschende "blaue Flamme" gelangte während des gesamten Verbrennungsvorganges nicht in die Quetschzone, wo nur eine gelb-rote Flammenbildung

die Flammenfront mangels ausreichenden Sauerstoff- und Temperaturniveaus kurz vor den Wandungen des Brennraumes.

**Bild III. 2-104** veranschaulicht diese Erscheinung noch einmal anhand eines Flammenfotos.

möglich war (unvollständige Verbrennung!). So wurden die leistungs- und verbrauchsgünstigen Brennräume unter dem Zwang der gesetzlich erlassenen HC-Grenzwerte und wegen der Nichtverfügbarkeit besserer Technologien durch Erweiterung der Quetschzonen modifiziert. Dies konnte durch einfache Kolbenkürzung oder auch durch die in **Bild III. 2-105** gezeigten Änderungen erfolgen. Mit der erreichten Absenkung der Kohlenwasserstoffemissionen



**Bild III.2-105:** Quetschspaltenerweiterung im Brennraum eines Motors zur Absenkung der HC-Emission, [624].

gingen aber Leistungsabfall und Wirtschaftlichkeitsverlust einher.

#### 2.4.2 Verdichtung

Es lag nun nahe, besonders in der Zeit von Modelljahr 1968 bis 1970 (als es noch keine Grenzwerte für die  $\text{NO}_x$ -Emissionen gab) durch Modifikation des Hauptbrennraumes den durch Quetschzonenerweiterung erlittenen Verdichtungs- (d. h. Wirtschaftlichkeits-) Verlust wieder auszugleichen. Gußänderungen an Zylinderköpfen machten dies möglich, so daß trotz der in Kap. 2.4.1 beschriebenen HC-Verbesserung wieder eine Anhebung der Leistung und Wirtschaftlichkeit möglich war. Diese wiedererhöhte Verdichtung und besonders die in jener Zeit allgemein und oft bis zu extremer Verschlechterung des Fahrverhaltens eingesetzten Abmagerungsmaßnahmen zur HC- und CO-Kontrolle ergaben jedoch einen Anstieg der bis dahin noch nicht limitierten  $\text{NO}_x$ -Emissionen.

Mit Einsatz der ersten  $\text{NO}_x$ -Grenzwerte in Kalifornien führten dann einige Automobilhersteller bereits ab Modelljahr 1971 die - ab Modelljahr 1972 aus Gründen der Verfügbarkeit von Kraftstoffen mit einer RON 91 generell notwendige - Niederverdichtung ein, wodurch tendenzmäßig wieder eine leichte  $\text{NO}_x$ -Verringerung erreicht wurde.

#### 2.4.3 Maßnahmen an der Zündung

Aus den in {600, 625, 626} durchgeführten Untersuchungen wird der entscheidende Einfluß der Vorgänge Zündung - Entflammung - Energieumsetzung auf Motorlaufruhe, Wirtschaftlichkeit und Schadstoffemission deutlich. In {625} werden der Vorgang der Verbrennungseinleitung und der weitere Ablauf des Verbrennungsvorganges, der nach {600} durch den aus dem Druckverlauf errechneten Energieumsetzungsverlauf gekennzeichnet werden kann, detailliert behandelt, wobei sich die wichtigsten Erkenntnisse wie folgt zusammenfassen lassen:

- a) Für die Beschreibung der interessanten Phasen des Verbrennungszyklus können die Kriterien Entflammungsdauer (Differenz zwischen Beginn der elektrischen Zündung und dem Zeitpunkt, in dem 5 % der gesamten Energie der Ladung umgesetzt sind), Umsetzungsdauer (zeitliche Differenz zwischen 5 % und 95 % umgesetzter Energie) und maximale Umsetzungsrate (Größtwert der Änderung der bezogenen Energieumsetzung im Kurbelwinkelintervall, in MJ/kmol °KW) herangezogen werden.
- b) Die (hier definierte) Entflammungsdauer umfaßt streng genommen drei unterschiedliche Abschnitte der Entflammung: Im *ersten* durchschlägt der Funke das Gemisch und schafft einen Plasmaschlauch sehr hoher Temperatur. Ausgehend hiervon beginnt die Flammenfortpflanzung nach dem wahren Reaktionsverzug, der unabhängig von der Drehzahl in der Größenordnung von  $> 0.5$  ms liegt {627}. Im *zweiten* Abschnitt der Entflammung hängt der Einfluß der Ladungsbewegung stark von der Beschaffenheit der Wirbelbildungen ab, grobballige Wirbelungen können zu einem Verwehen des Zündkerns führen, ohne die Verbrennungsgeschwindigkeit wesentlich zu erhöhen, während feinere Turbulenzen mit starkem Geschwindigkeitsgradienten sicher einen direkten Einfluß auf die Verbrennungsgeschwindigkeit nehmen {628}. Der *dritte* Abschnitt der Verbrennung ist die frühe Umsetzung, die der Hauptumsetzung entsprechend von der Ladungsbewegung beeinflusst wird. Der Restgasgehalt beeinflusst alle drei Abschnitte der Entflammung gleichermaßen, wodurch die Zunahme der Entflammungsdauer mit sinkender Last erklärbar ist.
- c) Durch vergleichsweise geringfügige Korrekturen des Beginns der (Hauptenergie-) Umsetzung läßt sich eine vom Luftverhältnis nahezu unabhängige Umsetzungsdauer bei gleichzeitig maximaler Leistungsausbeute erzielen. Das Problem liegt darin, bei mageren Gemischen eine sichere Entflammung zu gewährleisten.

- d) Änderungen in der Entflammungsdauer beeinflussen unmittelbar die Lage der Energieumsetzung im Verhältnis zur Kurbelstellung. Sie beeinflussen damit über Druck- und Temperaturniveau sowie Brennraumgeometrie und Flammenwege den gesamten weiteren Ablauf der Umsetzung.
- e) Die Entflammungsphase bestimmt jedoch nicht ausschließlich den Ablauf der Energieumsetzung und dessen Streuung von Zyklus zu Zyklus. Ablauf und Streuungen werden zu einem wesentlichen Teil von Streuungen des Restgasgehaltes hervorgerufen.
- f) Die Dauer der Entflammung ist von großer Bedeutung, weil sie insbesondere bei mageren Gemischen, hohem mittleren Restgasgehalt und später Zündung den Ladungszustand für die restliche Umsetzung festlegt.
- g) Die Unterschiede der (Verbrennungs-) Zyklen beruhen auf einem unterschiedlichen Ablauf der Energieumsetzung, nicht auf Unterschieden der zugeführten Energie. Daraus folgt, daß durch Optimierung des Umsetzungsverlaufes alle Zyklen tatsächlich an den optimalen Zyklus angenähert werden können.

In Ergänzung zu Punkt c) wird aus den Erkenntnissen in {625, 626} gefolgert, daß

- die Zündzeitpunktverstellung nahezu unnötig wird, wenn durch Maßnahmen am Gemisch oder am Zündsystem eine vom Betriebspunkt unabhängige Dauer des Entflammungsverzuges erreicht wird.

Nach dieser kurzen Rekapitulation wesentlicher Erkenntnisse über den Zünd- und Entflammungsvorgang im Verbrennungsmotor mit Fremdzündung seien nachfolgend Eingriffe am Zündvorgang sowie die Entwicklung von Zündsystemen unter dem Gesichtspunkt einer ständig weiter optimierten Verbrennung mit einer Senkung der Schadstoffemissionen näher betrachtet.

#### 2.4.3.1 Spätzündungsmaßnahmen

Aufgrund zahlreicher Studien, unter anderem der in Teil II, Kap. 1.1.3 genannten Arbeiten {180}, war das Zusammenwirken von HC und  $\text{NO}_x$  in der Atmosphäre mit den entsprechenden Auswirkungen auf die Smog-Bildung bekannt. Seitens des Gesetzgebers konnte jedoch erst eine Limitierung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen erfolgen, als eine entsprechende Meßtechnik zur Verfügung stand. Als dies der Fall war, wurde im Modelljahr 1971 in Kalifornien und im Modelljahr 1972 auch für die übrigen Bundesstaaten der USA ein entsprechender Grenzwert erlassen.

Die Automobilhersteller griffen zu der einzigen zu diesem Zeitpunkt serienmäßig einsetzbaren Technologie zur  $\text{NO}_x$ -Absenkung: der Spätzündung. Im Fahrbereich des gültigen Emissionstests wurde der Zündzeitpunkt so lange und so weit nach "spät" verstellt, daß die gesetzlichen Standards eingehalten werden konnten. Dies geschah mit relativ hohem Aufwand an Zusatzschaltelementen, z.B. mit der von Chrysler eingesetzten "Transmission Controlled Spark Advance" (TCS), oder den bei den meisten Herstellern eingesetzten motordrehzahl-, motorbetriebstemperatur-, saugrohrunterdruck- oder drosselklappenstellungabhängigen Systemen.

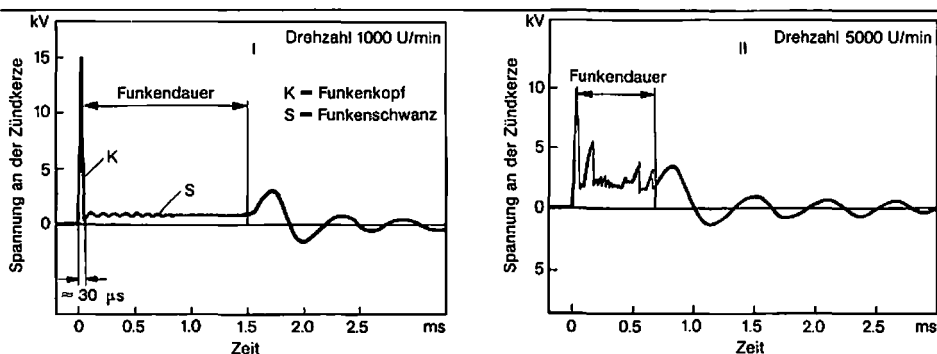
Die obengenannten Maßnahmen bewirkten alle eine Verschlechterung des thermischen Wirkungsgrades der Motoren mit durchweg nachteiligen Folgen. Die Energie des zugeführten Kraftstoffes wurde nicht mehr im Brennraum ausgenutzt, wie es das Ziel einer sinnvollen Motorentwicklung ist, sondern zum Nachreagieren der Abgasbestandteile im

Auslaß- und Auspuffsystem durch die aufgrund der Spätzündung in diese Region verlagerte Temperaturerhöhung verwendet.

#### 2.4.3.2 Entwicklung und Einsatz von Zündsystemen

An dieser Stelle sollen jedoch nicht nur Spätzündungsmaßnahmen mit ihren nachteiligen Folgen, sondern auch die Bemühungen erwähnt werden, ständig verbesserte Zündungssysteme einzuführen. Diese Anstrengungen standen sowohl unter dem Zeichen der Wartungsvereinfachung und Zuverlässigkeit wie auch der Erzielung besserer Verbrennung und damit günstigeren Kraftstoffverbrauches und der Erfüllung der Zertifizierungsdauerhaltbarkeitsnachweise mit niedrigen und über die Lebenszeit des Fahrzeuges möglichst konstant bleibenden Emissionen. Die Entwicklungsschritte von Zündanlagen aufgrund der Anforderungen aus dem Emissionskontrollbereich seien am Beispiel der an Daimler-Benz Fahrzeugen eingesetzten Systeme veranschaulicht.

#### 2.4.3.3 Die konventionelle Spulenzündung (SZ)



In den Modelljahren 1968 und 1969 wurden an Mercedes-Benz Pkw in den USA die konventionelle Spulenzündung (SZ) eingesetzt. Mit einer konventionellen SZ ist ein Zündvorgang verbunden, dessen Rhythmus ausschließlich

**Bild III.2-106:** Zeitlicher Verlauf der Spannung an der Zündkerze bei ruhigem (I) und bei stark bewegtem Gemisch (II), [629].

durch mechanische Kontakte gesteuert wird, die Ströme bis zu 4,5 A bis zu 18.000 mal pro Minute schalten müssen (hohe mechanische und elektrische Belastung!) [630].

Die Sekundärspannung an der Zündkerze, die den Zündvorgang sowie das Durchbrennen des Gemisches und damit das Emissionsverhalten beeinflusst, verhält sich bei der SZ wie in Bild III. 2-106 gezeigt. An diesem Bild lassen sich deutlich die beiden Abschnitte erkennen, die den Zündfunken kennzeichnen:

- äußerst kurzzeitiger Funkenkopf hoher Spannung
- langdauernder Funkenschwanz als Nachentladung mit leicht welliger Brennspannung

Der Funkenschwanz bestimmt die eigentliche Dauer des Zündfunken. Sobald die aus dem Speicher nachgelieferte Energie einen bestimmten Mindestwert unterschreitet, kann der Zündfunken nicht mehr "brennen", er reißt ab [631].

Bei sehr stark verwirbelten Kraftstoff-Luft-Gemischen, d. h. bei höheren Drehzahlen, reißt der eigentliche Zündfunken in mehrere Folgefunkten auf. Normalerweise wird dabei das wirksame Zünden nicht beeinträchtigt. Die Brenndauer geht jedoch wegen verminderter Energiespeicherung infolge verkürzter Schließzeit des Unterbrechers und

weil jeder Funkenkopf einen gewissen Energiebetrag für sich beansprucht zurück {632}. Hier sei auch auf die Ausführungen in {626} hingewiesen, wo der Einfluß von Funkenkopf und Nachentladung am Beispiel verschiedener Kombinationen von Folgefunken auf die Entflammung untersucht wird.

Der im Magnetfeld der Spule gespeicherte Energiebetrag hängt von der Stromstärke ab, bei der der Primärstromkreis unterbrochen wird. Die maximale Stromstärke, die ein konventioneller Unterbrecherkontakt betriebssicher schalten kann, liegt bei  $\approx 4$  A, d. h., daß das Zündverhalten konventioneller Spulenzündungen im Bereich sehr niedriger und hoher Drehzahlen durch die elektrischen und mechanischen Schalteigenschaften des Unterbrecherkontaktes bestimmt wird. Das bedeutet, daß bei niedrigen Drehzahlen die Schließzeit ausreichend lang und damit die Energiespeicherung größtmöglich ist. Bei höheren Motordrehzahlen, d. h. verkürzten Schließzeiten, erfolgt jedoch nur noch verminderte Energiespeicherung {633}.

#### 2.4.3.4 Die transistorisierte Spulenzündung (TSZ)

Wegen der im vorigen Kapitel genannten Nachteile der konventionellen Spulenzündung und besonders wegen des - an den aus Emissionskontrollgründen sehr abgemagert betriebenen Fahrzeugen jener Modelljahre - erforderlichen sicheren Durchzündens (sowie der

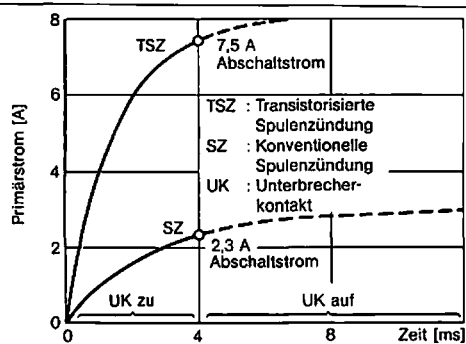


Bild III.2-107: Vergleich des schaltbaren Primärstromes bei verschiedenen Zündanlagen, [637].

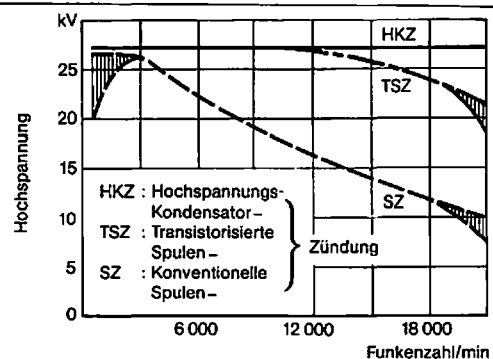


Bild III.2-108: Vergleich des Hochspannungsangebotes verschiedener Zündanlagen, [638].

über der Fahrzeuglebensdauer möglichst konstant zu haltenden Schließwinkel/Zündzeitpunkteinstellung) ging Daimler-Benz für alle 4- und 6-Zyl. Motoren ab Modelljahr 1970 auf die transistorisierte Spulenzündung (TSZ) über. Die Konstanz von Zündungsparametern ist Voraussetzung für die gewünschte (dem Gesetzgeber im Rahmen der in Kap. 5.3.5.1 diskutierten Zertifikationsdauerläufe über 50.000 Meilen nachzuweisende) Emissionskonstanz über der Fahrzeuglebensdauer.

Wie zuvor beschrieben, bestimmen die Eigenschaften des Unterbrecherkontaktes den Energiebetrag einer Spulenzündung. In der TSZ übernimmt deshalb der Unterbrecherkontakt die Aufgabe der Steuerung von Halbleiterelementen, die ihrerseits den Primärkreis einer Zündspule schalten. Mit Transistorspulenzündung werden Primärströme bis nahe 9 Ampère erzielt, die mögliche Funkenzahl liegt - durch Kontaktprellen begrenzt - bei  $\approx 21.000$  bis  $24.000$  Funken/Minute {634/635}.

Dadurch, daß die Transistoren in einem Zündschaltgerät nahezu trägheitslos und wesentlich größere Ströme schalten, wurde die Energie der TSZ gegenüber der konventionellen SZ annähernd verdoppelt. Der Steuerstrom zum Ansteuern der Transistoren erzeugt mit  $\approx 1$  A bei Verwendung von Ge und mit  $\approx 0.3$  A bei Verwendung von Si-Transistoren praktisch keinen Kontaktabbrand mehr {636}. In Bild III.2-107 sind der schaltbare Primärstrom und in Bild III.2-108 das Hochspannungsangebot von SZ und TSZ verglichen.

#### 2.4.3.5 Die kontaktlose Zündanlage

Sowohl die konventionelle wie auch die transistorisierte Spulenzündung zeigen einen gewissen Verschleiß am Gleitstück des Unterbrechers. Auch ist bei beiden Anlagen der Unterbrecherkontakt als Steuerschalter bei sehr hohen Schaltzahlen dem sogenannten Kontaktprellen ausgesetzt und dadurch in seiner Funktion eingeschränkt.

Um diese Probleme mit dem Ziel einer Wartungsfreiheit und Emissionskonstanz zu beseitigen, führte Daimler-Benz als Weiterentwicklung des Unterbrecherkontaktes vom mechanischen Schalter zum berührungslosen Auslösen von Zündimpulsen ab Modelljahr 1976 an US-Fahrzeugen mit 4,5 l/V-8 Motoren den kontaktlosen Zündverteiler für die TSZ ein. Die bei der TSZ mit kontaktloser Zündsteuerung erreichbare Grenzfunkenzahl liegt bei 30.000 Funken/Minute, wobei die verwendeten Zündimpulsgeber völlig verschleißfrei sind {639}.

Der kontaktlose Zündverteiler läßt sich nach einer gewissen Aufbereitung der Impulse (Signale) in einem Schaltgerät im Prinzip mit jeder beliebigen Zündanlage zu einem kontaktlosen Zündsystem verbinden. Eine solche Anlage ist völlig wartungsfrei, da Zündtaktgeber und Zündelektronik verschleißfrei arbeiten. Der Zündzeitpunkt läßt sich für alle Betriebszustände des Motors exakter als bei der SZ oder der TSZ einstellen und bleibt über die gesamte Lebensdauer des Zündverteilers nahezu konstant. Weiterhin ergibt sich eine größere Zündsicherheit bei hoher Drehzahl und optimale Leistungsaufnahme bei niedrigen Drehzahlen durch das Fehlen des Kontaktprellens {640}.

#### 2.4.3.6 Hochspannungs-Kondensatorzündung (HKZ)- und Mehrfunkenanlagen

Bei den Bemühungen, auch für besonders magere Gemische zwecks minimaler Emission unverbrannter Bestandteile im Abgas gutes Durchzünden zu erreichen, wurden bei Daimler-Benz weitere Zündanlagen, wenn auch nicht in Serie eingesetzt, so doch in das Gesamt-Versuchsprogramm "Zündsysteme" eingeschlossen.

Eins dieser Systeme war die HKZ, deren wesentliches Merkmal ist, daß die Zündenergie im elektrischen Feld eines Kondensators gespeichert wird. Kapazität und Aufladespannung des Kondensators bestimmen die Größe der Speicherenergie. Ein sogenannter Zündtransformator überträgt (als "induktiver Überträger") die Energie auf den Sekundärkreis und transformiert dabei die Kondensatorspannung in die für den Funkenüberschlag benötigte Hochspannung. Als Schalter wird ein Halbleiter, ein Thyristor, verwendet. Wie Bild III.2-108 zeigte, hat die HKZ hohe Spannungsreserven und optimale Leistungsaufnahme im gesamten Drehzahlbereich. Bild III.2-109 zeigt darüber hinaus,

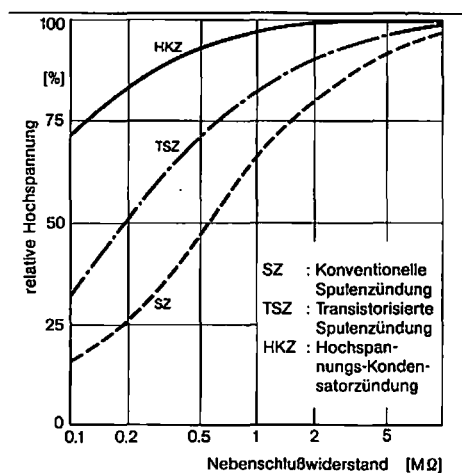


Bild III.2-109: Einfluß elektrischer Nebenschlüsse auf das Hochspannungsangebot verschiedener Zündsysteme. [641].

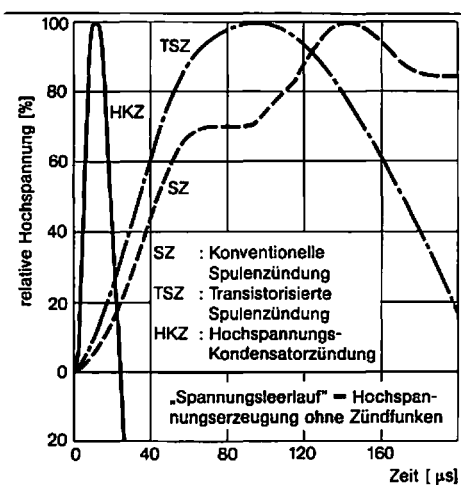


Bild III.2-110: Verlauf der Sekundärspannung verschiedener Zündanlagen bei „Spannungsleerlauf“, [642].

daß der Einfluß von Nebenschlüssen (Schmutz, Wasser, Öl) bei der HKZ im Vergleich zur TSZ und SZ wegen deren, in Bild III.2-110 gezeigten, sehr steilen, d. h. schnellen Sekundärspannungsanstieges am geringsten ist. Wegen der trotz der obengenannten Vorteile bei mageren Gemischen für alle Betriebszustände ungenügenden Zündung (als Folge der sehr kurzen Brenndauer der HKZ) wurden solche Systeme an Daimler-Benz Motoren nicht serienmäßig eingesetzt.

Weiterhin sind Systeme, z. B. Mehrfunkenanlagen, in Erprobung, die hinsichtlich Zündspannung und Zündenergie ein Vielfaches des kontaktlosen TSZ-Spulensystems aufbringen können. Durch gesteuerte elektrische Komponenten, wie Spannung, Strom, Brenndauer etc., wird eine Verbesserung bezüglich der Schadstoffemissionen im Abgas erwartet. Mit Einsatz solcher verstärkter Zündanlagen ergeben sich jedoch auch Isolationsprobleme, so daß unter Umständen neue isolationsfestere Kunststoffe notwendig werden.

#### 2.4.3.7 Die vollelektronische Zündanpassung

Über den obengenannten Weg zur Vervollkommung von Zündsystemen und immer stärkeren Einbeziehung elektronischer Eingriffsmöglichkeiten ergibt sich als nächster logischer Schritt die vollelektronische Anpassung der gesamten Zündcharakteristik an alle auftretenden Motorbetriebszustände. Derartige Anlagen bieten den Vorteil, jedem Motorbetriebszustand einen leistungs-, verbrauchs- und emissionsoptimierten Zündzeitpunkt zuzuordnen. In Verbindung mit Klopfregelsystemen kann hierbei der aus Sicherheitsgründen bei konventionellen Anlagen übergroß eingehaltene Abstand zur Klopfgrenze minimiert werden.

Die Leistungsfähigkeit der heute zur Verfügung stehenden Mikro-Computer macht es darüber hinaus möglich, Systeme zur gleichzeitigen Optimierung von Gemischbildung und Zündung, die bisher unabhängig voneinander festgelegt wurden, darzustellen [643]. Da z. B. im Falle der Kraftstoffeinspritzung fast alle Sensoren für die Einspritzung und die Zündung gleichzeitig verwendet werden, d. h. nur einmal erforderlich sind, bietet sich ein Zusammenschluß dieser beiden Funktionen - wie es z. B. in der "Motronic" von Bosch, deren Zündwinkelkennfeld in Bild III.2-111 dem einer TSZ gegenübergestellt ist, realisiert wurde - an. Kraftstoffeinspritzmenge und Zündzeitpunkt wer-



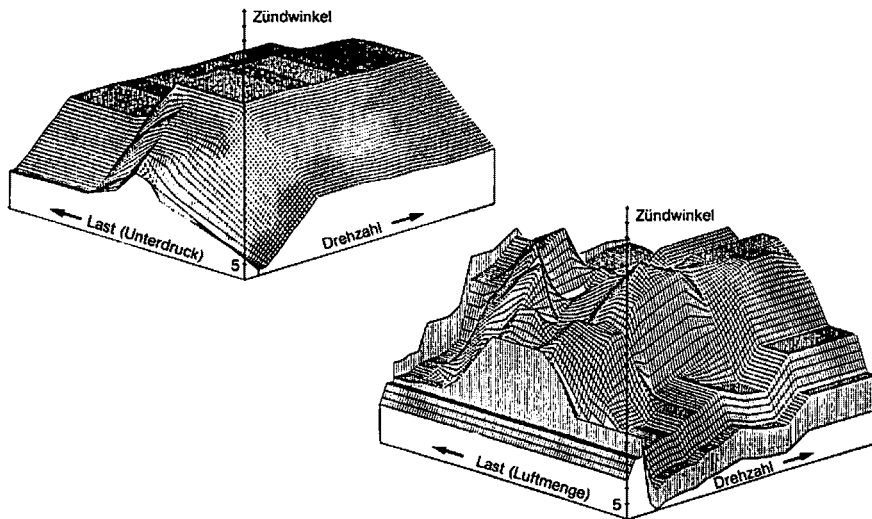


Bild III.2-111: Vergleich der Zündanpassung eines herkömmlichen Zündsystems und der Zündverstellung mit der Bosch „Motronic“, [644].

tes, wobei die verbrauchs- und emissionskritischen Motorbetriebszustände wie Leerlauf, Warmlauf, Schiebebetrieb und Beschleunigung vom Normalbetrieb unterschieden - nach speziellen im Hinblick auf die genannten Kriterien festgelegten Funktionen gesteuert werden [645].

Die Wartungsfreiheit eines solchen Systems macht nicht nur Fehleinstellungen, sondern auch die in Teil II, Kap. 3.2.10.2 genannten Probleme gegenstandslos und leistet damit einen entscheidenden Beitrag zum Erreichen der in den USA über 50.000 Meilen (80.000 km) gesetzlich geforderte Emissionsstabilität.

#### 2.4.4 Erhöhung von Brennraum-Wandtemperaturen

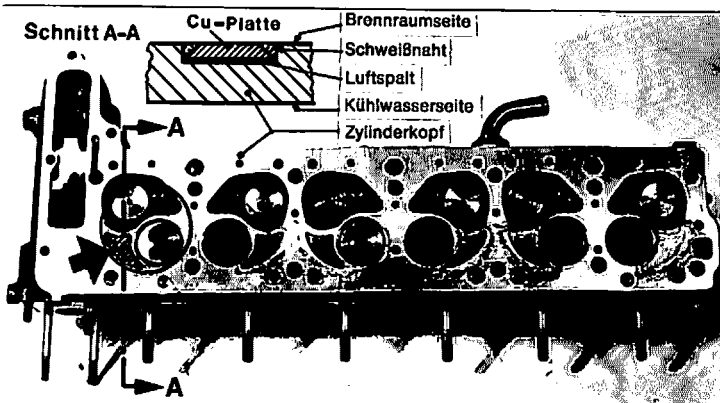


Bild III.2-112: Prinzipversuch zur Beeinflussung der Temperaturen in der Quetschzone des Brennraumes durch Einschweißen von Kupferplättchen, [646].

ziellen Maßnahmen zum Heißhalten der Quetschzone (zwecks Vermeidung einer verdichtungssenkenden Quetschspaltenerweiterung) wie z. B. in Bild III. 2-112 an einem Prinzipversuch mit eingelassenen Kupferplättchen im Quetschspaltenbereich (schnelle Erwärmung der Brennraumwand in der Quetschspalte plus Abschwächung der Wärmeabfuhr an das Kühlwasser durch Luftspalt zwischen Kupferplatte und Zylinderkopfmateriale) gezeigt, oder auch keramische Beschichtung des Kolbenbodens auf mögliche Emissionsverbesserung im Abgastest untersucht.

Die konstruktiven Schwierigkeiten derartiger Vorkehrungen standen jedoch in keinem Verhältnis zum erreichbaren Vorteil, so daß keine wandtemperaturerhöhenden Maßnahmen

den aus den zum Mikrocomputer gemeldeten Signalen über Ansaugluftmenge, Drehzahl, Kurbelwellenstellung, Motor- und Ansauglufttemperatur in Sekundenbruchteilen nach vorher festgelegten Programmen im Mikrocomputer berechnet. Die „Motronic“ erlaubt hochgenaue und zeitlich stabile Steuerung der Einspritzmenge und des Zündzeitpunktes

Zu den Brennraum-Maßnahmen, die besonders zur HC-Senkung untersucht wurden, gehören auch Modifikationen, die die Brennraumwandungen heiß halten oder Oberflächentemperaturen erhöhen sollten. Bei Daimler-Benz wurden hierzu unter anderem Zylinderköpfe mit geänderten Wandstärken und Kühlwasserführungen im Bereich des Brennraumes, Zylinderköpfe mit speziellen

weiterverfolgt wurden.

#### 2.4.5 Steuerzeiten

Ein weiteres Mittel zur Beeinflussung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen (außer Spätzündung) war die in Kap. 2.3.4.3 genannte Abgasrückführung. Geringe motorinterne Abgasrückführung wurde durch die serienmäßig vorhandene Ventilüberschneidung realisiert. Der Erfolg dieser Maßnahme blieb jedoch in Grenzen, da die Überschneidung aus Gründen des Motorlaufverhaltens bei kleinen Drehzahlen nicht beliebig vergrößert werden kann. Zu große Ventilüberschneidung birgt besonders in diesem Bereich die Gefahr großer Restgasverdünnung und führt damit zu Entflammungsaussetzern, d.h. zu einer unbeabsichtigten HC-Erhöhung.

Um diese Nachteile zu vermeiden und die mit steigenden Drehzahlen immer stärker erlaubte Vergrößerung der Ventilüberschneidung zur  $\text{NO}_x$ -Kontrolle (durch interne EGR) und zur Leistungssteigerung ausnutzen zu können, wurden auch Versuche mit dem sogenannten "variable valve timing" (VVT) unternommen [647]. Systeme mit diesen kontinuierlich verstellbaren Nocken der Nockenwelle(n) gelangten jedoch wegen des im Vergleich zu dem Erfolg zu hohen technischen Aufwandes nicht zum Serieneinsatz.

Steuerzeitenanpassung zeigt bei HC-Emissionen ebenfalls Wirkung und wird bei HC-Kontrollmaßnahmen mit berücksichtigt. Auf die CO-Emission ist die Ventilsteuerzeit selbst ohne Einfluß.

#### 2.4.6 Kolbenringe und Feuersteg

Obwohl in der praktischen Anwendung bezüglich der Wirksamkeit zur HC-Kontrolle nur von sekundärer Bedeutung, seien von den intensiven Arbeiten zur Erforschung der HC-Quellen im Brennraum die Beispiele Kolbenringe und Feuersteg kurz angeschnitten. Nach den in [84] zitierten Untersuchungen verläuft die HC-Konzentration nach dem Auslaßventil über der Zeit, d. h. über der Kurbelstellung aufgetragen gemäß dem in Teil I dieser Arbeit gezeigten Bild I.2-33. Die HC-Spitzen in diesem Bild resultieren nicht nur aus den Quenchzonen (oder aus den an der Brennraumwand befindlichen Ablagerungen) sondern auch aus den "Toträumen" im Bereich des Feuersteges und oberen Kolbenringes. Durch Verkleinerung des Feuersteges und durch Höherlegen des oberen Kolbenringes oder auch durch Verwendung von oberen Kolbenringen in L-Profil können diese Toträume verkleinert und damit die Menge des dort lagernden unverbrannten Gemisches verringert werden. Hierdurch ist eine spürbare HC-Verbesserung nachgewiesen worden [648].

### 2.5 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff:

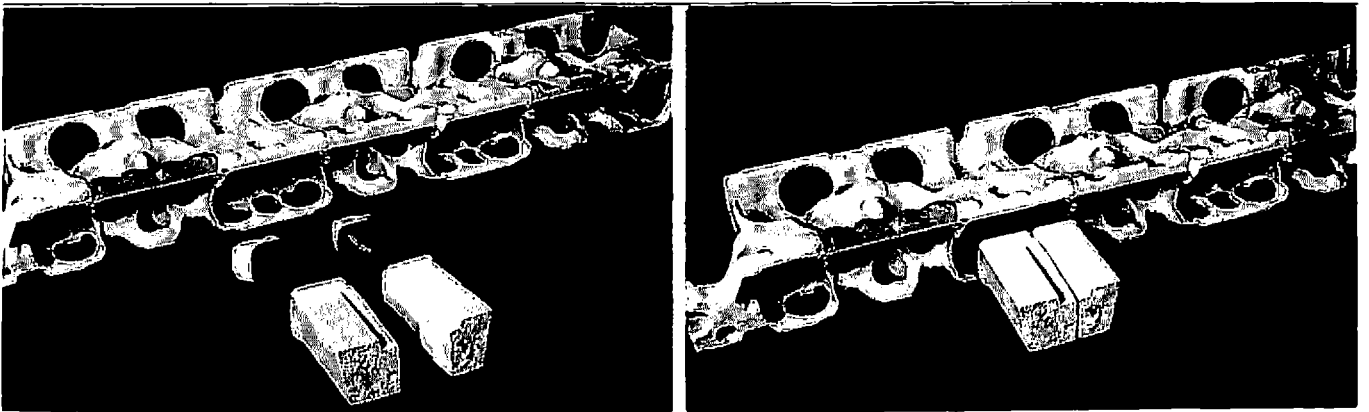
#### Eingriffe nach dem Brennraum

Bis einschließlich Modelljahr 1973 waren die unter den Begriffen "engine modification" und "add-on devices" laufenden Maßnahmen vor und in dem Brennraum zur Vermeidung oder Absenkung der Entstehung von Schadstoffemissionen ausreichend. Ab Modelljahr 1974 mußten jedoch bei Daimler-Benz zur Erfüllung der verschärften Emissionsstandards zu-

sätzlich Maßnahmen nach dem Brennraum zur Beseitigung der trotz der vor und in dem Brennraum durchgeführten Eingriffe entstandenen Emissionen eingesetzt werden. Diese Maßnahmen sind durch den Begriff "exhaust gas aftertreatment" (Abgasnachbehandlung) charakterisiert. Die Entwicklung ab Modelljahr 1974 zeigt, daß sich der Schwerpunkt der Emissionskontrolle immer mehr auf diese nachmotorischen Maßnahmen verlagerte, die in Verbindung mit innermotorischen Eingriffen an Kraftstoffaufbereitung und -zu- teilung sowie Zündung die Abgasreinigungskonzepte der 80er Jahre darstellen werden.

### 2.5.1 Portliner

Wie schon durch Spätzündungsmaßnahmen eingeleitet, bemühte man sich auch mit mecha- nischen Vorkehrungen im Auslaßkanal und Auspuff, das Abgas zwecks Nachreaktion länger heiß zu halten.



**Bild III.2-113:** Herstellung eines Zylinderkopfes mit eingegossenen „Portlinern“ aus hoch warmfestem Stahlblech. Die „Portliner“ werden mit dem Sandkern des Auslaßkanals in den Wassermantel des Zylinderkopfes für den Gußvorgang eingeschoben und fixiert, [649].

Im Zylinderkopf bietet sich dazu fast nur das Mittel der "portliner" an, die den Aus- laßkanal durch hochwarmfeste Blecheinsätze vom Kühlwassereinfluß isolieren, wie es Bild III. 2-113 zeigt. Je nach Zylinderkopfkonstruktion, d. h. Länge des Auslaßka- nals, sind die Möglichkeiten aber sehr begrenzt. In obengenanntem Bild ist die re- lativ komplizierte Einarbeitung von Portlinern in die Auslaßkanäle eines 6-Zyl. Mercedes-Benz Motors veranschaulicht. Die wegen der gewundenen Kanalform zweckmäßi- gerweise aus zwei Halbschalen hochwarmfesten Bleches zusammengeschweißten Portliner mußten nach Ausfüllung durch den Sandkern des Auslaßkanals in den Wassermantelkern des Zylinderkopfes eingelegt werden. Die komplette Anordnung wurde dann wie üblich dem Zylinderkopf-Gußvorgang unterzogen. Wegen der geringen, zur Verfügung stehenden Materialstärken zwischen Portliner und Zylinderkopf erkaltete beim Gießen die Schmel- ze oft, bevor sie sich um den Porliner herum geschlossen hatte, so daß der Kopf spä- ter wasserundicht war. Die genannten technologischen Probleme, zusammen mit den hohen Fertigungskosten und den dennoch nur in Konstantphasen des (damals noch angewendeten Kalifornien-) Abgastests feststellbaren HC-Verbesserungen schlossen einen serienmä- ßigen Einsatz von diesen Portlinern allein aus.

### 2.5.2 Thermische Nachverbrennung

Bei Weiterführung des im vorigen Kapitel angesprochenen Gedankens ergibt sich als

nächster logischer Schritt die Anwendung von thermischen Reaktoren, d. h. von Vorrichtungen, die durch Bereitstellung von Verweilzeit und Erhalten hoher Temperaturen Nachreaktionen der im Abgas noch vorhandenen unverbrannten Bestandteile ermöglichen.

Zu den ersten Arbeiten im Hinblick auf eine mögliche Anwendung von thermischen Reaktoren in Fahrzeugen für den Staat Kalifornien gehören Untersuchungen des "Vehicle Combustion Products Committee" (VCP) der AMA. Dieses VCP hatte eine "Exhaust System Task Group" gegründet mit dem Arbeitsziel, HC-Emissionen im Automobilabgas durch den Einsatz von nachmotorischer Abgasbehandlung zu senken. Über die Ergebnisse dieser schon Anfang der 50er Jahre durchgeführten Arbeiten wird ausführlich in {520} berichtet. Man fand in diesen Untersuchungen heraus, daß entweder katalytische oder thermische Nachverbrennung die erfolgversprechendsten Nachbehandlungsverfahren waren, wobei beide Systeme durch Oxidation mit Lufteinblasung arbeiteten.

#### 2.5.2.1 Der "Ignition Cut-Off Burner"

Einer der ersten Versuche zum Erreichen einer thermischen Nachverbrennung ohne Lufteinblasung war der sogenannte "Ignition Cut-Off Burner", dessen Funktion in {650} ausführlich beschrieben ist. Er war zur HC-Kontrolle im Schiebetrieb gedacht und weicht von den im folgenden behandelten Systemen insofern ab, daß er eine aktive Zündung im Auspuff einleitet. Im Schiebetrieb des Fahrzeuges wurde die Zündung im Brennraum abgeschaltet und die im Auspuff befindliche Zündkerze aktiviert. Man ging von der Überlegung aus, daß eine Verbrennung bei Verzögerung im Auspuff wegen der dort nicht vorhandenen Restgasverdünnung emissionsgünstiger war als im Zylinder selbst.

Infolge der geringen Verweilzeit, der raschen Abkühlung des Abgases im unisolierten Auspuffkrümmer und der immer wieder erlöschenden Flamme war die Wirkung dieser Nachverbrennungsanlage jedoch nur gering.

#### 2.5.2.2 Thermische Nachverbrennung durch Lufteinblasung ("Manifold Air Oxidation", "Man Air Ox", "MAO")

Die ersten in Kalifornien vom CMVPCB für Modelljahr 1966 zertifizierten Emissionskontrollsysteme von US-Herstellern beinhalteten das Verfahren der thermischen Nachverbrennung durch Lufteinblasung.

Hierbei hatten außer der Chrysler Corp. die bis einschließlich Modelljahr 1971 mit sogenannten "Engine Modification"-Systemen auskam, alle amerikanischen Hersteller ihre Motoren mit einer Luftpumpe ausgerüstet. Diese mit einem Überdruck-Abblaseventil versehene Flügelzellenpumpe war Bestandteil eines bei allen Herstellern aufgrund der technischen Erfordernisse nahezu funktionsgleichen Lufteinblase-Systems, das sich aus folgenden Einzelteilen zusammensetzte (am Beispiel des Ford "Thermactor"-Systems) {651}:

- Luftpumpe mit dazugehörigem Luftfilter
- Luftverteilerrohr für jede Zylinderbank

- Luftumschaltventil
- Rückschlagventil pro Luftverteilerleitung
- Einblaseröhrchen pro Zylinder-Auslaßkanal
- Luftversorgungsleitungen
- Unterdruckleitung

Auch in dem sogenannten "Air Guard"-System von AMC ist dieser Umfang beinhaltet (das "Air Guard" schließt darüber hinaus jedoch noch einen modifizierten Vergaser und einen modifizierten Zündverteiler ein) [652].

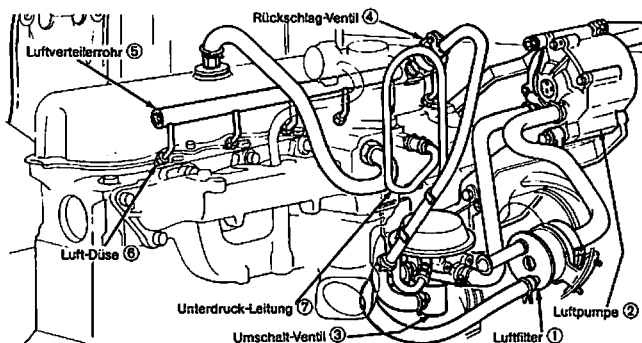


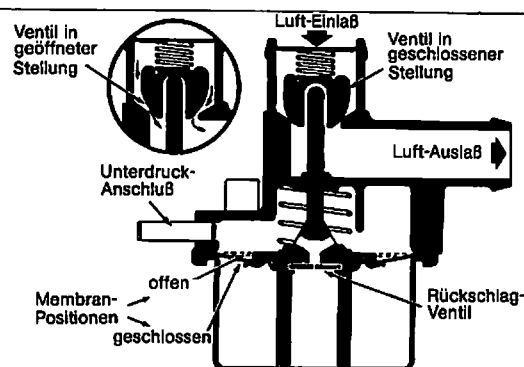
Bild III.2-114: Frühe Ausführung eines Lufteinblasesystems an einem Ford 6-Zyl.-Vergasermotor aus dem Modelljahr 1966 (für Kalifornien), [653].

Bild III.2-114 zeigt eine frühe Ausführung des Lufteinblaseprinzips an einem Ford 6-Zyl. Motor (Modelljahr 1966). Die über einen kleinen Luftfilter (1) von der Luftpumpe (2) angesaugte Luft wird über ein Umschaltventil (3) und ein Rückschlagventil (4) in ein Luftverteilerrohr (5) geleitet, von wo aus rostfreie Stahlleitungen (6) in die Auslaßkanäle des Zylinderkopfes führen. Das Rückschlagventil (4) verhindert Rückfluß von Abgas in die

Luftpumpe, falls deren Förderdruck kleiner als der Abgasdruck wird. Das bei Vergasermotoren bei Verzögerungen auftretende fettere Gemisch verbrennt im Brennraum nicht vollständig, so daß unverbrannte Kohlenwasserstoffe in die Auslaßkanäle gelangen. Würde jetzt die Lufteinblasung in die Auslaßkanäle beibehalten, ergäbe sich durch die eintretende Verdünnung der unverbrannten Gase wieder ein brennbares Gemisch. Dieses würde beim nächsten Auslaßtakt durch die in die Auslaßkanäle gelangende Flamme gezündet. Die erfolgende Verbrennung ist als Auspuffknallen bekannt.

Als Abhilfe wurden zwei Arten von sogenannten "backfire suppressor valves" eingesetzt:

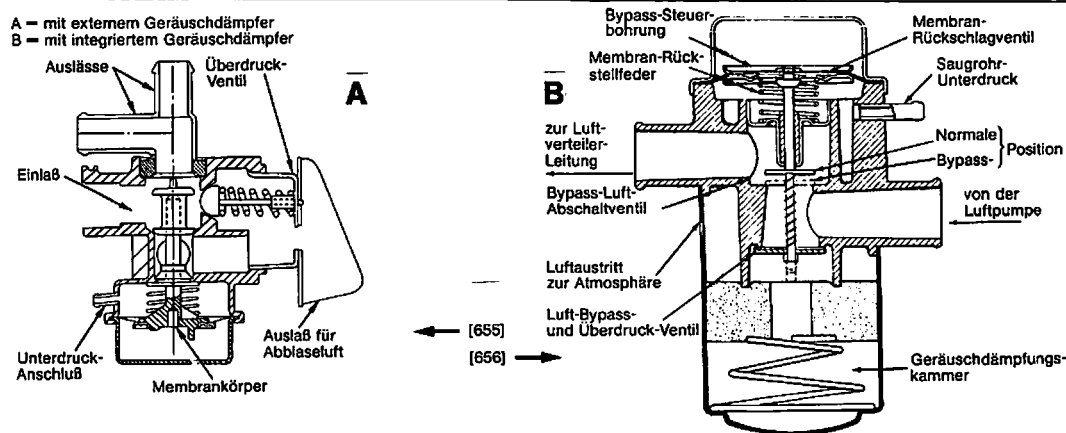
- a) das sogenannte "air gulp valve" (1966 bis 1967)
- b) das sogenannte "bypass" - oder "diverter valve" (ab 1968)



Das in Bild III.2-115 dargestellte (von 1966 bis 1967 verwendete) "air-gulp"-Ventil ist an die Luftversorgung von Luftpumpe zum Luftverteilerrohr (Lufteinblasung in die Auslaßkanäle) angeschlossen. Im Moment der Verzögerung hebt das vom Saugrohr kommende hohe Unterdrucksignal die Membran und den Kolben an, so daß ein "Schuß" Frischluft zum Saugrohr gelangen kann und dort Gemischüberfettung vermeidet.

Bild III.2-115: Das „air gulp valve“, das als Bestandteil der in den Modelljahren 1966/67 von US-Autoherstellern eingesetzten Lufteinblasesysteme im Schiebetrieb des Motors kurzzeitig Frischluft in das Saugrohr einließ, [654].

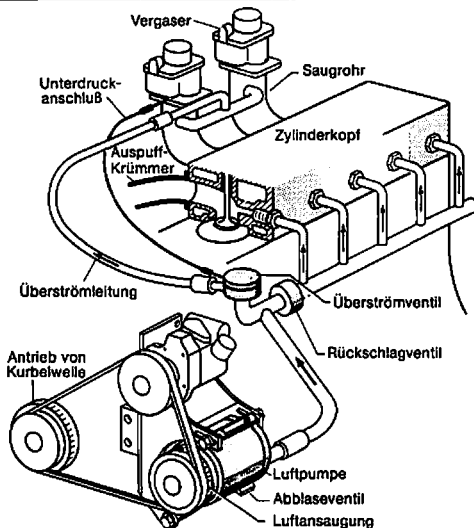
Das ab 1968 verwendete "bypass"- oder "diverter"-Ventil unterbricht den normalen Luftfluß von Luftpumpe zu Luftverteilerrohr (Lufteinblasung



**Bild III.2-116:** Ausführungsformen des „bypass“- oder „diverter valve“, das als Bestandteil der ab Modelljahr 1968 von US-Autoherstellern eingesetzten Lufteinblasesysteme im Schiebetrieb des Motors die Lufteinblasung in die Auslaßkanäle unterbrach, [655, 656].

in die Auslaßkanäle) im Moment der Verzögerung (ebenfalls durch ein Unterdrucksignal vom Saugrohr her gesteuert) und leitet den gesamten Luftstrom ins Luftfilter der Luftpumpe oder des Motors (d. h. praktisch in die Atmosphäre, aber geräuschgedämpft) um. Hierdurch wird also keine Gemischabmagerung vor dem Zylinder durch Einleiten von Luft ins Saugrohr, aber auch keine Nachverbrennung im Auspuff durch Lufteinleiten nach dem

Zylinder erreicht.



**Bild III.2-117:** Nachverbrennungsanlage durch Lufteinblasung („Manifold Air Oxidation“) wie am Mercedes-Benz 2,5 l/6-Zyl. Vergasermotor des US-Modelljahres 1968 eingesetzt, [657].

Zwei "modernere" Varianten dieses Prinzips sind in Bild III. 2-116 wiedergegeben: das "diverter"-Ventil entläßt die Einblaseluft hierbei über einen externen (A) oder einen im Ventil integrierten (B) Geräuschdämpfer in die Atmosphäre. Bei Ausführung (B) ("Carter Carburetor"-Anfertigung für Ford) hat das Ventil nicht nur die obengenannte Abblasefunktion in Verzögerungsphasen, sondern es kann gleichzeitig Überdruck im System abblasen.

Auch Daimler-Benz wendete im Modelljahr 1968 (erstes Jahr, in dem auch Importeure die kalifornischen Abgasstandards einhalten mußten) und im Mo-

delljahr 1969 diesessogenannte "Main Air Ox"- oder kurz "MAO"- (Manifold Air Oxidation)-System an seinen 6-Zyl. Vergasermotoren serienmäßig an. Bild III. 2-117 zeigt den Aufbau und die Funktion einer solchen Anlage.

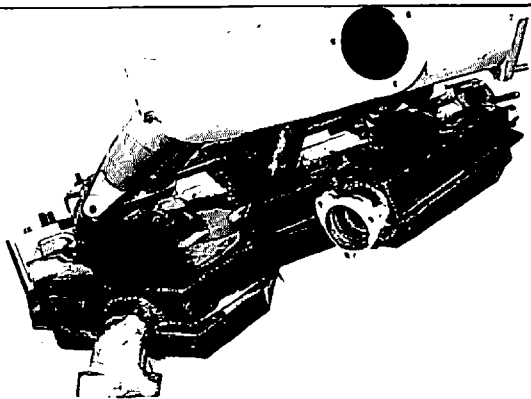
#### 2.5.2.3 Thermische Nachverbrennung mit Reaktoren ohne Lufteinblasung ("magerer" Reaktoren)

Bei Verwendung dieser "armen" oder auch "mageren"-Reaktoren wird der Motor im Bereich des Luftverhältnisses  $\lambda = 1,1$  bis  $1,2$  betrieben, wobei sich der zur Nachverbrennung benötigte Sauerstoff im Abgas selbst befindet, so daß eine Luftzufuhr (durch Selbstansaugung oder Luftpumpe) entfallen kann. Der Reaktor arbeitet dann nach dem Prinzip der Verweilzeit-Erhöhung für das Abgas unter möglichst hohen Temperaturen,



**Bild III.2-118:** Der „Mini-Reaktor“ des Mercedes-Benz 2.3 1/4-Zyl.-Vergasermotors der US-Modelljahre 1975/76.

wobei keine direkte "Flammenhaltung" sondern nur eine stille Oxidation vorliegt {658}. Aus diesem Grund muß ein "armer" Reaktor auch relativ großvolumig sein. Im übrigen gleicht er im Aufbau den im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Ausführungen "fetter" Reaktoren. Da ein "armer" oder "magerer" Reaktor Luftverhältnisse von  $\lambda > 1$  bedingt, ergibt sich ein hoher Stickoxidausstoß und schlechtes Fahrverhalten im Leerlauf und unteren Lastbereich. Außerdem ist die Effektivität des Reaktors bei der Aufspaltung und Oxidation der Kohlenwasserstoffe ungenügend {659}. Magere Reaktoren wurden auch von Daimler-Benz untersucht, jedoch nur am 4-Zyl. Vergasermotor der Modelljahre 1975/76 als sogenannter "Mini-Reaktor" zur Unterstützung für andere Emissionskontrollmaßnahmen eingesetzt. Der "Mini-Reaktor" bestand hierbei aus einer Erweiterung des Auspuffkrümmers wie in Bild III.2-118 gezeigt ist.



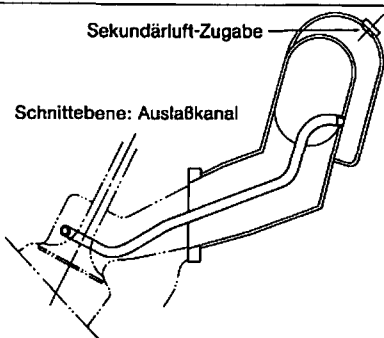
**Bild III.2-119:** Entwicklung eines Thermoreaktors am Mercedes-Benz 2.8 1/6-Zyl.-Einspritzmotor aus dem Jahre 1968 (Stufe I: Ummantelung des Auspuffkrümmers; Stufe II: wie Stufe I, aber mit Isolationsmaterial; Stufe III: Ersatz der Auspuffkrümmer durch Reaktor in der gezeigten Form), [660].

Das Prinzip der Verwendung des Auspuffkrümmers als Magerreaktor wurde bei Daimler erstmals am 2,8 l-Einspritzmotor im Jahre 1970 untersucht. Hierbei bestand der erste Entwicklungsschritt in einer Ummantelung des vorderen und hinteren Auspuffkrümmers dieses 6-Zyl.-Motors wie es Bild III.2-119 veranschaulicht. Diese Ummantelung aus hochwarmfestem Material sollte in einem zweiten Entwicklungsschritt noch Isolationsmaterial enthalten. Im 3. Entwicklungsschritt war ein Entfall der separaten Abgasableitung durch Auspuffkrümmer und Übergang auf

einen einzigen großen "Verweilraum" zwischen Zylinderkopf und Auspuffleitung in der im Bild dargestellten Form geplant. Wegen der zuvor genannten Nachteile dieses Prinzips wurde die Entwicklung jedoch abgebrochen.

#### 2.5.2.4 Thermische Nachverbrennung mit Reaktoren und Lufteinblasung ("fette" Reaktoren)

Nach den ersten Versuchen an "mageren" Reaktoren durch die "Exhaust Emission Task Group" der AMA in der Zeit von 1955 bis 1957 wurde von der Automobilindustrie der Entwicklungsschwerpunkt auf die "reichen" oder "fetten" Reaktoren gelegt. Anfang 1962 wird von Ford über erfolgreiche Versuche an "fetten" Reaktoren berichtet. Um die schnelle Abkühlung des Abgases (d. h. Erlöschen der Flamme) nach dem Auslaßventil zu vermeiden, versuchte man durch Sauerstoffzugabe (Lufteinblasung mit vorgewärmter Luft) eine Temperatur- und damit Flammenerhaltung zu erreichen. Obwohl die beabsichtigte HC-Senkung gelang, zeigten Temperaturmessungen, daß man mit  $\approx 650$  bis



**Bild III.2-120:** Frühe Ausführung eines „fetten“ thermischen Reaktors, an dem 1962 das sogenannte „volume phenomenon“ der Nachreaktion heiß gehalten und gut mit der eingeblasenen Luft vermischter Abgase untersucht und erkannt wurde, [662].

760 °C unterhalb der Entflammungsgrenze des Gemisches ( $\approx 980$  °C) geblieben war. Die Nachoxidation war also nicht durch eine Flammenreaktion ("frontal phenomenon"), sondern durch homogene Wirkung ("volume phenomenon"), d. h. aufgrund intensiver Vermischung von Sekundärluft und Abgas sowie Erhalten eines hohen Temperaturniveaus erreicht worden [661].

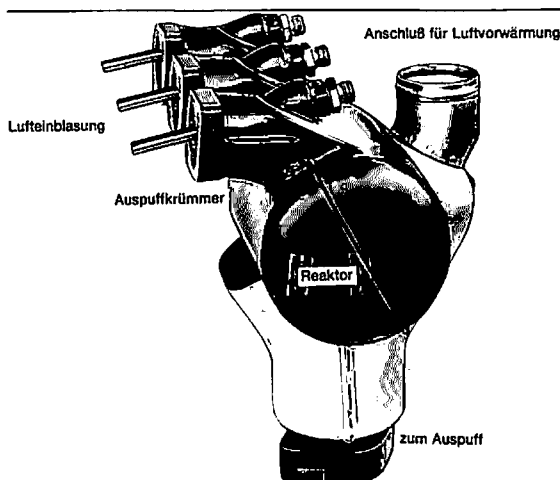
Bild III. 2-120 zeigt den prinzipiellen Aufbau des für diese Versuche verwendeten Reaktors.

Eine anschließende Grundsatzstudie unterstrich die

Notwendigkeit, eine homogene Mischung des zugeführten Sauerstoffes mit dem Abgas zu erreichen. Der Auspuffkrümmer wurde hierbei durch Reaktions-Volumina verschiedener Größe ersetzt, die von einem Muffelofen aufgeheizt werden konnten. Unterschritt das Reaktionsvolumen einen bestimmten Wert, fand keine oder nur eine schwache Nachreaktion im Abgas statt, auch wenn der Reaktionsraum weit über die bei größeren Volumina ausreichende Temperatur (von  $\approx 650$  °C) z. B. bis auf  $> 800$  °C aufgeheizt wurde: bei zu kleinen Reaktionsvolumina fand keine homogene Vermischung von Sauerstoff und Abgas und damit keine Nachoxidation statt [663].

Die Ergebnisse dieser ausführlichen Tests (ausreichende Volumina, Erhaltung hoher Temperatur, bestmögliche Vermischung) wurden zu Konstruktionskriterien der später serienmäßig eingesetzten thermischen Reaktoren. Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang auch die in [664] und [665] beschriebenen Untersuchungen, die die weiteren Fortschritte auf dem Gebiet der thermischen Reaktoren aufzeigen.

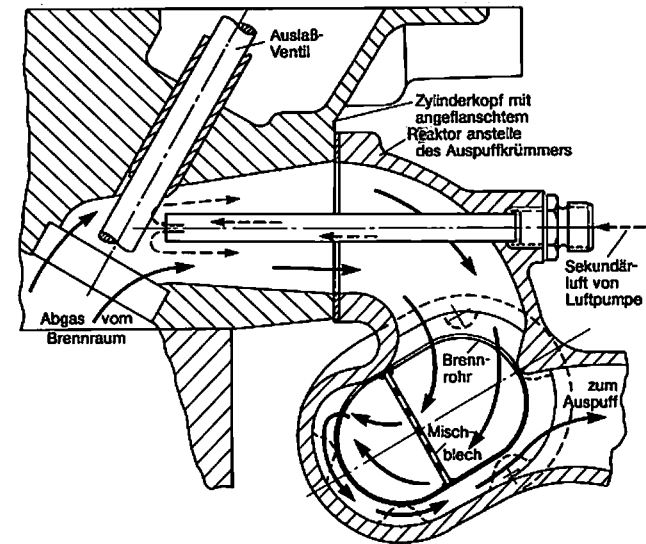
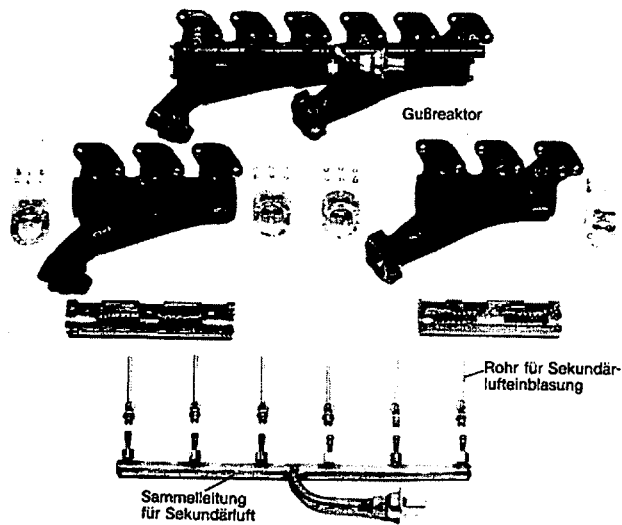
In der Zusammenstellung auf Bild III. 2-121 bis Bild III. 2-123 sind einige Ausführungsformen thermischer Reaktoren gezeigt, wie sie bei Daimler-Benz untersucht wurden. Bild III. 2-124 zeigt die aus diesen Entwicklungen abgeleitete Version eines thermischen Reaktors, wie sie im Modelljahr 1974 an Mercedes-Benz 6-Zyl. Vergasermotoren für Kalifornien serienmäßig eingesetzt wurde.



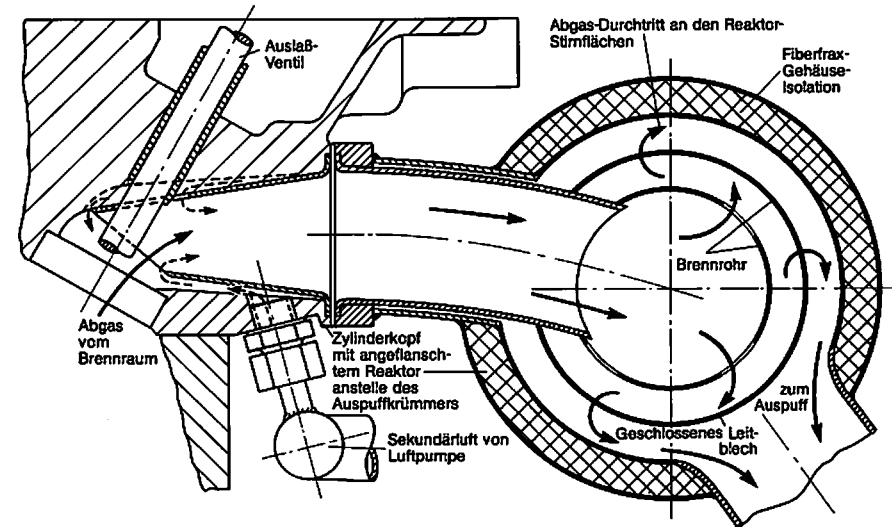
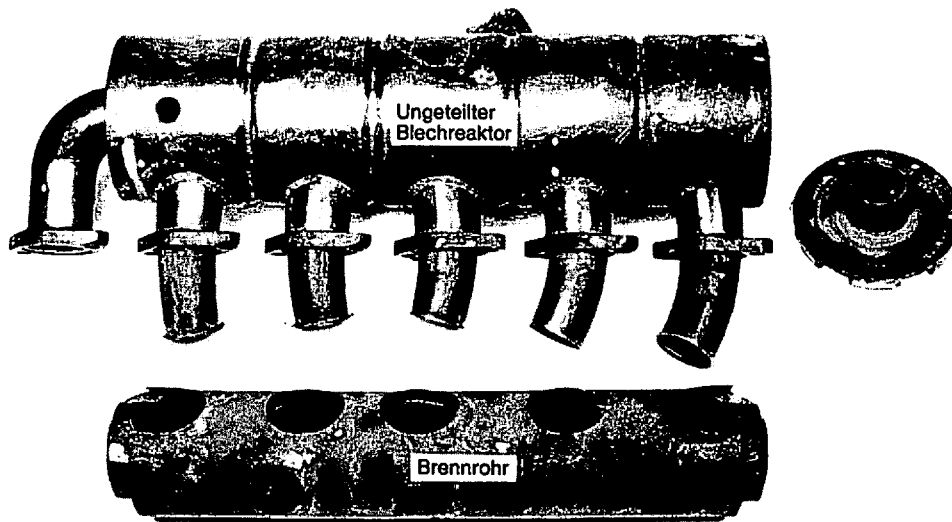
**Bild III.2-124:** Thermischer Reaktor mit Lufteinblasung am Mercedes-Benz 2.8 l/6-Zyl.-Vergasermotor für Kalifornien im Modelljahr 1974, [666].

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die wesentlichen Vorteile des "fetten" Reaktors in seinem durch das dem Motor zugeführte reiche Kraftstoff/Luft-Gemisch ( $\lambda = 0.8$  bis  $0.9$ ) bedingten geringeren  $\text{NO}_x$ -Ausstoß, seinen gegenüber dem "mageren" Typ geringeren HC-Werten, den guten Fahreigenschaften, die eine Anwendung der Abgasrückführung zulassen, und dem (verglichen mit dem "armen" Reaktor) geringeren Raumbedarf liegen. Weiter muß darauf hingewiesen werden, daß es beim Betrieb eines "armen" Reaktors (im Gegensatz zum "reichen" Reaktor) nur ein schmales  $\lambda$ -Toleranzband

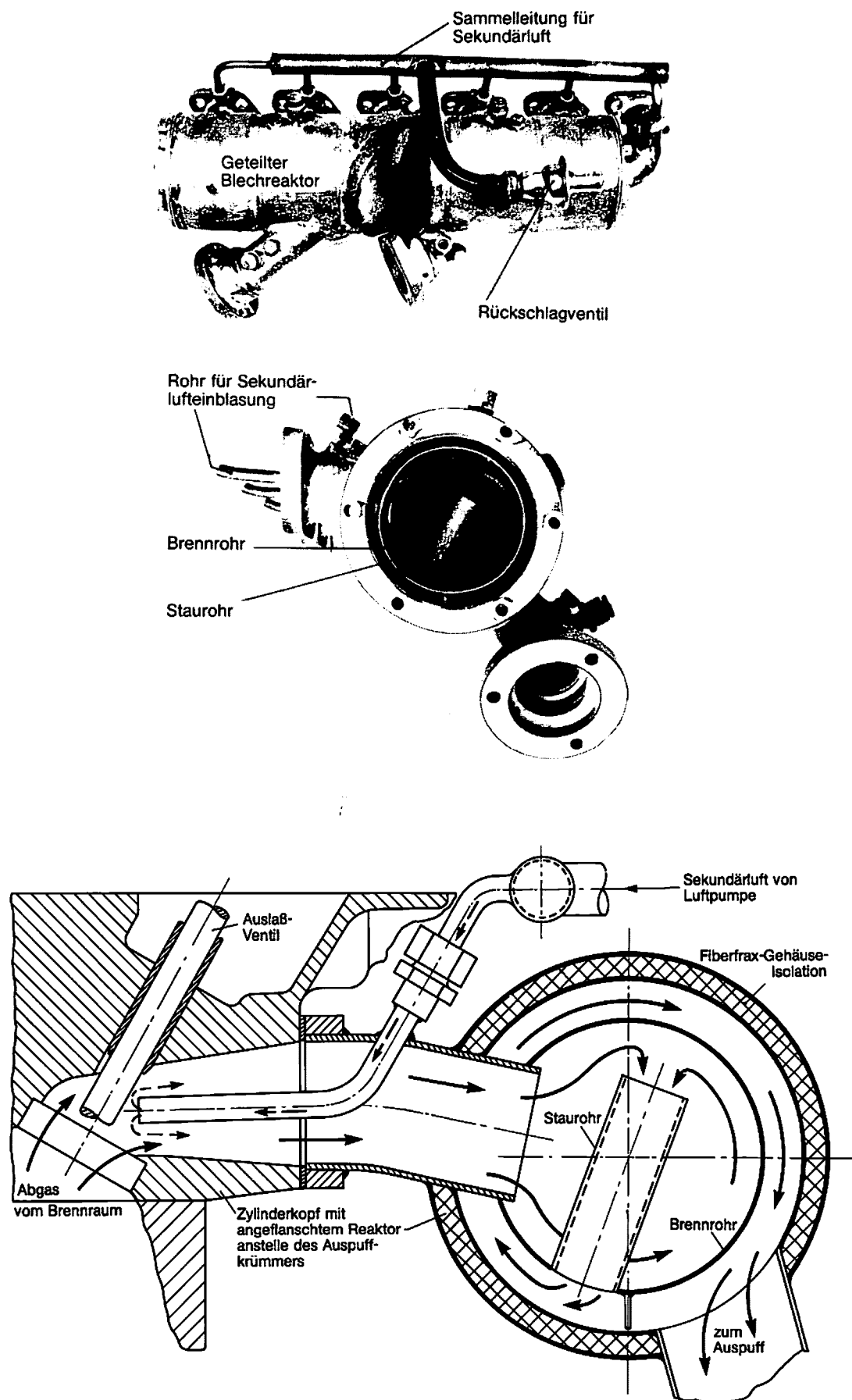




**Bild III.2-121:** Geteilter Versuchsreaktor (Gußausführung) mit Lufteinblasung sowie Brennrohren und Mischblechen aber ohne Gehäuseisolation für einen Mercedes-Benz 6-Zyl.-Motor, [617].



**Bild III.2-122:** Ungeteilter Versuchsreaktor (Blechausführung) mit Lufteinblasung sowie Brennrohr und Gehäuseisolation für einen Mercedes-Benz 6-Zyl.-Motor, [617].



**Bild III.2-123:** Geteilter Versuchsreaktor (Blechausführung) mit Lufteinblasung sowie Brennrohr und Gehäuseisolation für einen Mercedes-Benz 6-Zyl.-Motor, [617].

gibt, in dem sowohl die Abgaswerte wie auch das Fahrverhalten gut sind. Dies läßt sich in einer Serienproduktion und im Kundenbetrieb nur unter hohen Kosten und bei gutem Service einhalten {667}.

Bei Ausfall von einer oder mehreren Zündkerzen werden im "reichen" Reaktor Temperaturen von  $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht (es liegen im Frischgas 3 bis 6 Vol.% CO vor). Da die Reaktorwandungen jedoch nur Temperaturen  $< 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  aushalten, muß in einem solchen Falle über eine Temperatursicherung die Sekundärluftzufuhr abgeschaltet werden. Durch die Luftabschaltung sinkt die Temperatur um  $\approx 400\text{ K}$ . Bei "armen" Reaktoren ist diese Temperatursicherung nicht nötig, da die Nachverbrennung der bei Kerzenausfall ausgeschobenen Frischgase (mit einem CO-Gehalt von  $< 0,5\text{ Vol.}\%$ ) nicht zu unzulässigen Temperaturerhöhungen führt {668}.

Als Nachteil der "fetten" Reaktoren muß vor allem der erhöhte Kraftstoffverbrauch genannt werden, der bei Fahrzeugen mit solchen Konzepten in der Größenordnung von 10 bis 20 % lag. Erhebliche Probleme können darüber hinaus bei allen Reaktoren mit Brennröhren entstehen, wenn sich diese Einsätze im Betrieb lösen und unerträgliche Geräusche verursachen. Hier kann dann nur der gesamte (teure) Reaktor gewechselt werden.

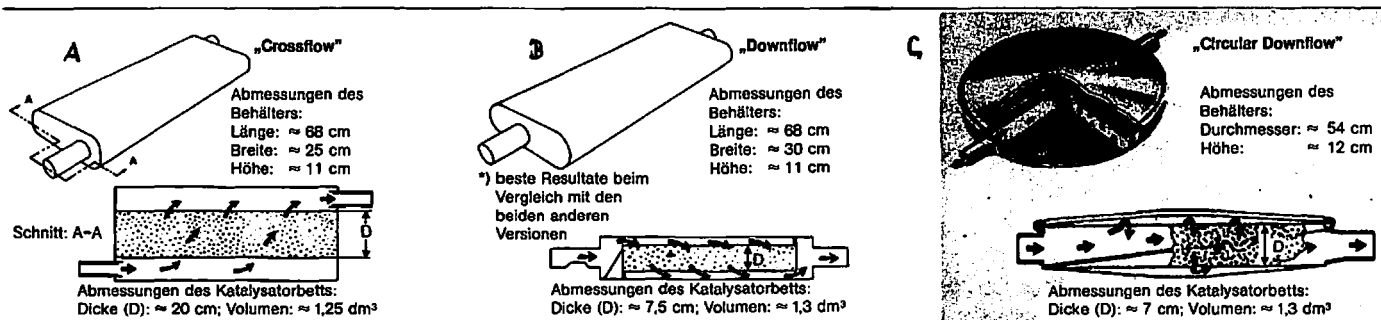
### 2.5.3 Katalytische Nachverbrennung

Katalysatoren zur Beschleunigung chemischer Vorgänge zählten bereits seit langem zu einer bekannten und im praktischen Einsatz erprobten Technologie, als sie erstmals Anfang der 50er Jahre auch innerhalb der Automobilindustrie für einen chemischen Prozeß, die Verbrennung im Otto-Motor, auf Möglichkeiten der Ablaufverbesserung (d. h. in diesem Fall zur Emissionssenkung) in Betracht gezogen wurden.

Schon etwa 10 Jahre vor Einsatz der ersten Emissionsgrenzwerte für Automobilabgase wurden von der "Exhaust System Task Group" der AMA Untersuchungen an Katalysatorsystemen für Pkw durchgeführt {520}. Hierbei waren sowohl Edelmetallkatalysatoren wie auch solche mit Nicht-Edelmetallbeschichtung in das Programm eingeschlossen. Die bei diesen ersten Versuchen aufgetretenen Probleme, wie Temperaturanfall im Motorraum, Platzbedarf, Wirksamkeit über der Fahrzeug-Laufzeit, Verbleiung, Zusatzkosten, periodischer Wechsel und Geräusch, waren 2 Dekaden später zum Teil noch immer ungelöst und führten als Hauptargument der Automobilindustrie in den "Suspension Hearings" 1972 und 1973 schließlich zum Aufschub der sogenannten "Muskie Standards" für das Modelljahr 1975 beim HC und CO sowie für Modelljahr 1976 beim  $\text{NO}_x$ .

Bei weiteren, z. B. in {669} beschriebenen Anlagen wurden Katalysatoren (hier: Vanadium-Pentoxid) auf folgende Kriterien hin untersucht:

- Gehäuseform und Durchflußrichtung
- Art des Fahrzyklus zur Laufstrecken-Akkumulation
- Menge des Katalysatormaterials
- Verwendung unverbleiten Kraftstoffes
- Betrieb ohne Sekundärluft



**Bild III.2-125:** Untersuchung der günstigsten Durchströmrichtung von Granulat-Katalysatoren aus dem Jahre 1962, nach [670].

In Bild III. 2-125 sind einige Beispiele der getesteten Varianten zusammengestellt. Am wirksamsten zur HC-Kontrolle war Ausführung B, in der gleichmäßigste Durchströmung und damit bestmögliche Ausnutzung der Katalysatoroberfläche vorlagen.

Noch während dieser Anfangsarbeiten mit Katalysatorkonzepten wurden seitens des Gesetzgebers Anforderungen an Katalysatorkonzepte formuliert [671], die das Primärziel HC- und CO-Absenkung noch um weitere Gesichtspunkte ergänzten wie:

- a) Auswirkungen von Katalysatorfehlfunktion
- b) Auswirkung von Auspuffknallen
- c) Beeinträchtigung von Fußgängern durch Katalysatortemperatur
- d) Betrieb des Systems in starkem Regen
- e) Betrieb in Höhenlagen
- f) Betrieb in Wüstenzonen
- g) Erzeugung von Verbindungen, die die Gesundheit der Bevölkerung gefährden können (!)

Das Aufstellen der Kriterien a) bis g) in den kalifornischen Umweltschutzbestimmungen schon im Jahre 1961 muß als historischer Meilenstein angesehen werden. Nicht nur der "Clean Air Act" von 1963 der Bundesregierung mit allen seinen Ergänzungen bis hin zu den 1977er "Amendments" aus denen besonders g) als immer noch ungelöstes Problem für die Zukunft des Diesel-Motors hervorging, sondern auch die Emissionskontrollgesetze anderer Länder haben alle oder einige dieser Gedanken einbezogen. So führte z. B. Kriterium c) zu einer aufwendigen Zusatz-Prozedur im japanischen Zertifizierungsverfahren (siehe dazu auch Teil V, Kap. 3.3.7).

### 2.5.3.1 Oxidations-Katalysatoren

Bei den zur Absenkung oder vollständigen Verbrennung von Kohlenmonoxid ( $2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$ ) und Kohlenwasserstoffen ( $\text{C}_x\text{H}_y + (x + \frac{y}{4}) \text{ O}_2 \rightarrow x \cdot \text{CO}_2 + (\frac{y}{2}) \text{ H}_2\text{O}$ ) eingesetzten Oxidations-Katalysatoren mit Lufteinblasung wurde am Anfang der Entwicklung für den Einsatz im Fahrzeug ausschließlich Granulat als Katalysatorträger verwendet [672]. Da das Granulat durch die dauernden Erschütterungen im Fahrzeug abgerieben wird – die Emissionskontrollgesetze aber hohe Standzeiten verlangen –, mußte dem Trägermaterial zunehmend mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Hinzu kam, daß durch die ständig verschärften Abgasgrenzwerte die Kaltphase entscheidender wurde, deren Zeitdauer sich aus der Aufheizzeit des Katalysators auf Betriebstemperatur ergibt, so daß Trägerkörper mit geringerer spezifischer Wärmeaufnahme nötig wurden [672].

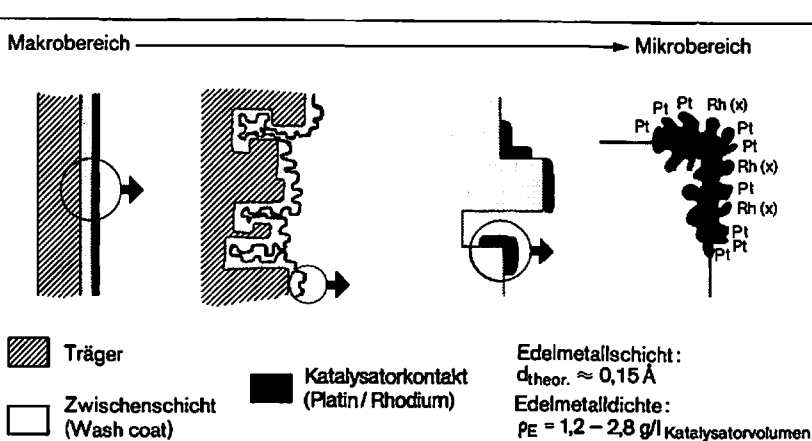


Bild III.2-126: Aufbau eines monolithischen Katalysators mit Edelmetallkontakt, [673].

terte Monolithen. Diese Träger haben nur eine geringe Porosität, so daß nur kleine Katalysatormengen aufgebracht werden können. Aus diesem Grund werden bis heute ausschließlich mit Edelmetallkatalysatoren getränkte Monolithen verwendet, die gegenüber Metalloxidkatalysatoren eine wesentlich höhere Aktivität haben [672]. In Bild III. 2-126 sind Aufbau und Beschichtung eines monolithischen Katalysators veranschaulicht.

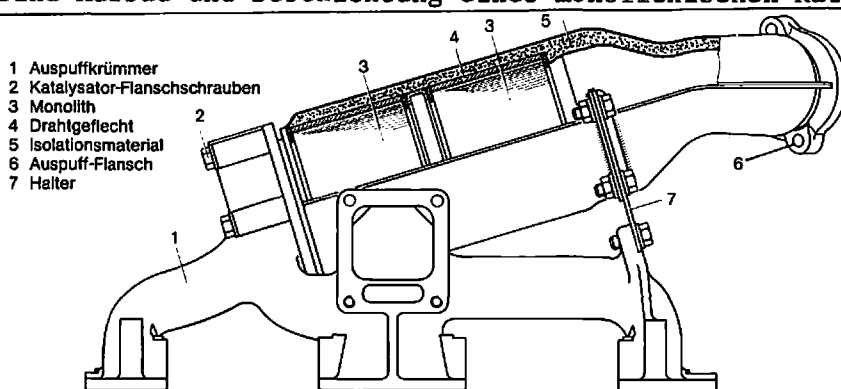


Bild III.2-127: Lagerung zweier monolithischer Oxidationskatalysatoren in einem isolierten Gehäuse am Beispiel des Mercedes-Benz 2.3 l/4-Zyl. Vergasermotors (Katalysator im Auspuffkrümmer) im US-Modelljahr 1975, [674].

Erhebliche Probleme mußten bezüglich des Katalysatoreinbaus in das Fahrzeug überwunden werden. Diese begannen schon mit der schüttelfesten Lagerung des Monolithen im Katalysatorgehäuse und der notwendigen Temperaturisolierung gegen Wärmeabstrahlung nach außen. Bild III. 2-127 zeigt den Aufbau eines Katalysators mit den hier angesprochenen Zonen.

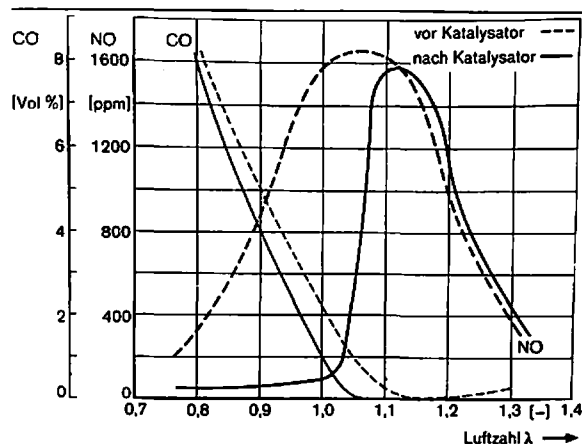
Da der Einbau in ein Fahrzeug direkt am Motor zwar optimale Katalysatorwirkung erbringt (hohe Abgastemperaturen), Katalysatorträger und Gehäuse hier jedoch auch thermisch am höchsten belastet sind (Dauerhaltbarkeitsnachweis in der Zertifizierung!) und Einbauverhältnisse oft Probleme bereiten, wurden die Katalysatoren von den Automobilherstellern mit wenigen Ausnahmen unter dem Fahrzeugboden (und hier aus Kostengründen meist auch nur in Granulatausführung) angeordnet. Bild III. 2-127 zeigt ebenfalls, daß Daimler-Benz die aufwendigere, aber auch emissionsgünstigere motornahe Lage gewählt hat.

Diese Gesichtspunkte sowie die konsequente Weiterverfolgung des schon zuvor genannten Kriteriums "gleichmäßige Durchströmung und bestmögliche Ausnutzung der Katalysatoroberfläche" [669] führte schließlich zur Monolith-Form.

Im Hinblick auf Dauerhaltbarkeit, mechanische Festigkeit, geringe Wärmekapazität und kleinen Gegen-  
druck entstanden z. B. aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bei sehr hohen Temperaturen gesin-

Edelmetallkatalysatoren sind sehr bleiempfindlich und bedingen daher den Einsatz bleifreien Kraftstoffes. Erst die Bereitstellung bleifreien Kraftstoffes erlaubte in den USA den Einsatz dieser Emissionskontrolltechnologie ab Modelljahr 1975.

### 2.5.3.2 Reduktions-Katalysatoren



Reduktions-Katalysatoren arbeiten naturgemäß ohne Lufteinblasung und wirken nach der Formel  $2 \text{ NO} + 2 \text{ CO} \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{ CO}_2$  auch nur im  $\lambda < 1$ -Bereich stickoxidsenkend. Hier wird gewährleistet, daß der Partialdruck des CO relativ groß und damit vollständiges Ablaufen der Reaktion gewährleistet ist, wie es Bild III.2-128 zeigt.

Reduktionskatalysatoren wurden bei Daimler-Benz nur in Verbindung mit Oxidationskatalysatoren

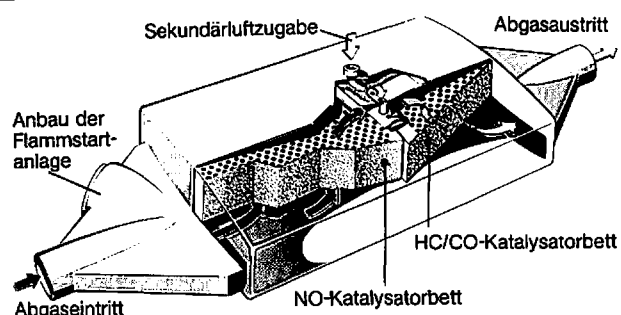
**Bild III.2-128:** NO- und CO-Konzentration vor und nach einem Reduktionskatalysator als Funktion der Luftzahl, [675].

eingesetzt, wobei sie während des Motorwarmlaufes durch Umschaltung der Sekundärlufteinblasung

von "nach-Reduktionskatalysator"/"vor-Oxidationskatalysator" auf "vor-Reduktionskatalysator" zur Unterstützung des Oxidationskatalysators herangezogen wurden. Die dadurch vorübergehend entfallende NO-Absenkung konnte hingenommen werden, da während des Motorwarmlaufs ohnehin wenig NO entsteht.

### 2.5.3.3 Doppelbett-Katalysatoren

Ein Doppelbettkatalysator stellt die Zusammenfassung der beiden zuvor genannten Möglichkeiten in einem Gehäuse ("Bett") dar. Bild III.2-129 zeigt eine solche Anordnung am Beispiel einer Unterboden-Ausführung mit Granulatträger. Wegen der relativ großen Entfernung vom Motor wäre in dieser Lage ein recht spätes Anspringen des Katalysators

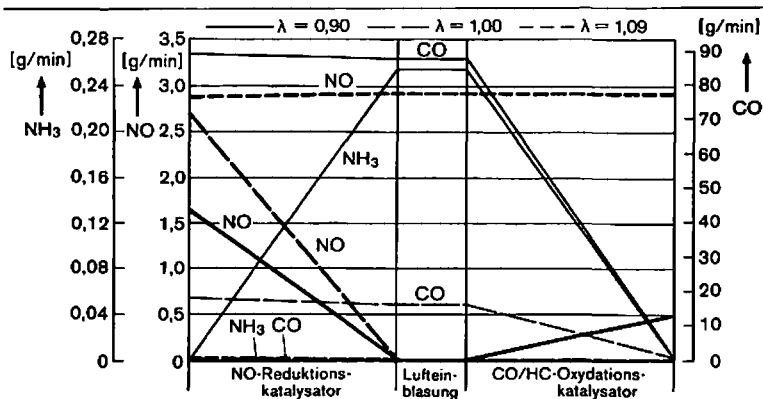


**Bild III.2-129:** Schema eines Doppelbettkatalysatorbehälters für Granulat zum Einbau unter dem Fahrzeugboden, [676].

erfolgt. Daher waren in der ersten Zeit der Entwicklung derartiger Ausführungen noch zusätzliche Flammstartanlagen in der Erprobung. Der Anschluß für diese Starthilfe ist ebenfalls in obengenanntem Bild gezeigt.

Die Funktion dieses Katalysator-Typs ist identisch mit der einer getrennten Anordnung von Reduktions- und Oxidationsteil: Das mit mindestens 2 Vol.-% CO angereicherte Abgas

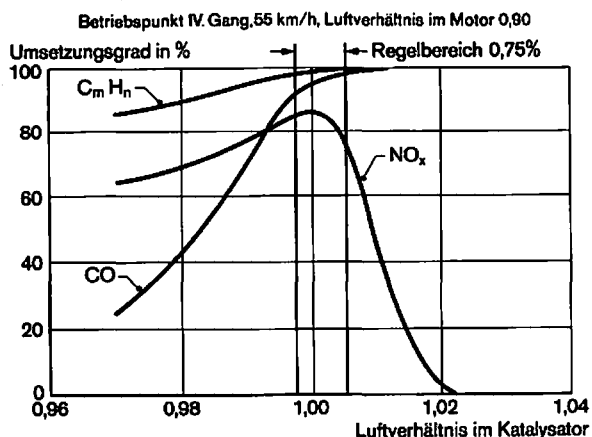
strömt in den Reduktionskatalysator, in dem NO durch CO reduziert wird. In dem nachfolgenden freien Querschnitt wird Sekundärluft zugegeben und vermischt. Das jetzt mit  $\text{O}_2$  angereicherte Abgas strömt in den Oxidationskatalysator, in dem CO und HC zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  oxidiert werden. Im Bild nicht gezeigte Umlenkbliche sorgen für eine gleichmäßige Beaufschlagung der Katalysatorbetten. Zum Ausgleich der Verluste an einem solchen Granulatkatalysator sind Nachfüllanschlüsse vorgesehen. In der Anspringszeit ist ein Doppelbettkatalysator stets ungünstiger als ein Einbettkatalysator, da die Sekundärluft erst nach der ersten Packung zugegeben werden kann, so daß die zusätzliche Aufheizung des Abgases auf dem Weg zum Katalysator durch exotherme Reaktionen entfällt.



**Bild III.2-130:** Verlauf von  $\text{NO}$ -,  $\text{CO}$ - und  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen in einem Doppelbettkatalysator. Die Umrechnung der gemessenen Vol.-ppm bei  $\text{NO}$  in  $\text{g}$  erfolgte entsprechend den USA-Vorschriften über die Dichte von  $\text{NO}_2$  nach [678].

nicht vergleichbar sind. Bei  $\lambda = 1,09$  erfolgt mangels  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$  im Abgas keine  $\text{NO}$ -Reduktion und  $\text{NH}_3$ -Bildung. Bei  $\lambda = 1,0$  wird das  $\text{NO}$  im 1. Bett vollständig reduziert und das  $\text{CO}$  im 2. Bett nachverbrannt.  $\text{NH}_3$  wird nicht gebildet. Bei  $\lambda = 0,9$  ist der  $\text{NO}$ -Gehalt vor dem Katalysator infolge der reicheren Motoreinstellung schon deutlich niedriger. Im Reduktionskatalysator findet dann eine nahezu hundertprozentige  $\text{NO}$ -Reduzierung statt, wobei das  $\text{CO}$  mit  $\approx 70\%$  und der  $\text{H}_2$  mit etwa  $30\%$  an der  $\text{NO}$ -Umwandlung beteiligt sind, was durch die  $\text{NH}_3$ -Bildung nachgewiesen wird. Die angegebenen Werte lassen sich nach den Molekularmassen umrechnen. Danach ergibt  $1\text{ g NH}_3 = 2,706\text{ g NO}_2$ . Im Oxydationskatalysator verbrennt das  $\text{NH}_3$  wieder zu  $\text{NO}$ . Das im Abgas vorhandene  $\text{CO}$  wird ebenfalls vollständig abgebaut. Bei dieser Einstellung ist daher je nach Katalysator eine 70 bis 90 %ige  $\text{NO}$ -Reduktion möglich. Katalysatoren, bei denen die Entstehung von  $\text{NH}_3$  bei  $\lambda = 0,9$  vollständig unterbleibt sind bisher nicht bekannt. Eine fast hundertprozentige Vermeidung aller drei Schadstoffe ist deshalb nur in dem sehr engen Toleranzbereich von  $0,99 < \lambda < 1,01$  möglich [679].

#### 2.5.3.4 Selektiv - (oder Dreiweg-) Katalysatoren mit $\text{O}_2$ -Sonde



**Bild III.2-131:** Selektivkatalysator-Sensibilität, [681].

Die im vorigen Kapitel beim Doppelbett-Katalysator beschriebene 3-Weg-Funktion ( $\text{HC}$ -,  $\text{CO}$ - und  $\text{NO}_x$ -Absenkung) kann auch mit einem bifunktionellen Einbettkatalysator erreicht werden [680]. Bild III. 2-131 zeigt, daß es sich hierbei um einen Katalysatortyp handelt, der bei entsprechend feiner Dosierung des abgasseitigen  $\text{O}_2$ -Gehaltes gleichzeitig hohe oxidierende und hohe reduzierende Wirkung ermöglicht. Der im Bild ausgewiesene enge  $\lambda$ -Bereich hoher Umsetzungsraten setzt, sofern das Potential voll ausgeschöpft werden soll, in der Praxis eine zusätzliche Regeleinrichtung voraus, die die Streuungen der gemischbildenden Steuerorgane zu glätten vermag ( $\text{O}_2$ -Sonde).

Die Vorteile dieses (sehr exakt und daher aufwendig in einem sehr engen  $\lambda$ -Fenster zu betreibenden) Selektivkatalysators sind dann allerdings überzeugend:

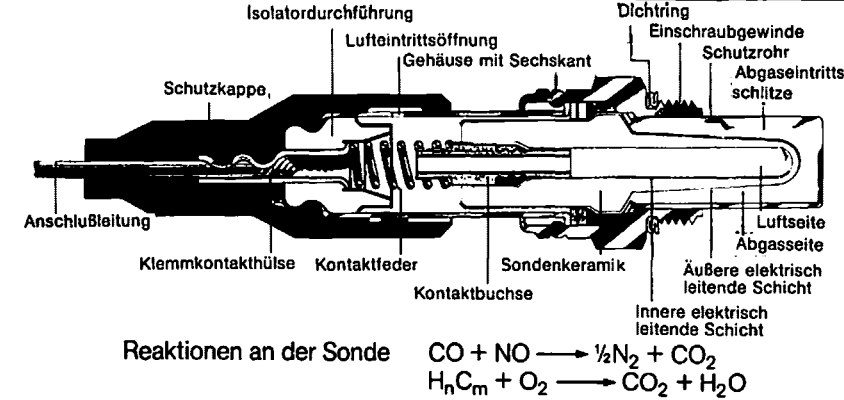
- nur ein Katalysator zur Absenkung aller 3 limitierten Schadstoffe ( $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ) erforderlich (dadurch Entfall von EGR)
- theoretisch keine Sekundärlufteinblasung erforderlich
- keine  $\text{SO}_3$ -Bildung
- keine Bildung zusätzlicher Schadstoffe, wie sie bei Katalysatorbetrieb in weiter von  $\lambda = 1$  entfernten Bereichen entstehen können (z. B.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ )

Bevor diese Vorteile zur Geltung kommen, muß jedoch der aus Gemischaufbereitungssystem und  $\text{O}_2$ -Sonde bestehende Regelkreis nicht nur seinen eigenen optimalen Arbeitsbedingungen angepaßt werden, sondern es sind auch bezüglich des Katalysators und des Motors gewisse Forderungen zu erfüllen. Diese Schwierigkeiten und die zur Abhilfe eingesetzten technischen Lösungen sind in Bild III.2-132 zusammengestellt.

Zu beachtende Schwierigkeit	Technische Lösungen
<ul style="list-style-type: none"><li>● Der Katalysator erreicht nennenswerte Umsetzungsraten der Schadstoffkomponenten erst oberhalb von Temperaturen von <math>\approx 250</math> bis <math>300^\circ\text{C}</math>.</li><li>● Die Regelung setzt erst ein, nachdem die Sonde Temperaturen von <math>\approx 260^\circ\text{C}</math> erreicht hat. Diese Temperaturen werden je nach Katalysator- und Sondereinbaulage zu unterschiedlichen Zeiten nach Start des Motors erreicht.</li><li>● Während der Warmlaufphase muß der Motor mit einem „fetteren“ Gemisch als <math>\lambda = 1.0</math> betrieben werden. Dies hat zur Folge, daß die Regelung erst einsetzen darf, wenn der Motor entsprechend abgemagert werden kann. Bis zum Erreichen der Betriebstemperaturen von Katalysator, Sonde und Motor kann demnach keine nennenswerte Abgasreinigung stattfinden.</li><li>● Sowohl die Sonde wie auch der Katalysator sind technischen Streuungen unterworfen, d. h. beide sind mit einem Toleranzband behaftet. Somit kann nicht in jedem Fall mit einem optimalen Abbau der Schadstoffemissionen gerechnet werden.</li><li>● Das Spannungsangebot der Sonde verringert sich über der Laufzeit. Bezogen auf die im Steuergerät fest einprogrammierte Referenzspannung wird somit ein kleineres Kraftstoff/Luft-Gemisch geregelt und damit der Bereich hoher Umsetzungsraten des Katalysators verlassen.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Damit die Katalysatoren möglichst schnell ihre Betriebstemperaturen erreichen, wurden motor-nahe Vorkatalysatoren angeordnet und das Abgasrohr bis zum Unterbodenkatalysator wärmeisoliert. Die Vorkatalysatoren wirken einerseits als Startkatalysatoren und verbrennen andererseits auch den freien Wasserstoff im Abgas. Die Beeinflussung der Sondenkennlinie durch freien Wasserstoff im Abgas, der stark vom jeweiligen Motorbetriebszustand abhängt, wird somit eliminiert.</li><li>● Damit während der Warmlaufphase bei noch zu fetter Gemischanpassung eine Schadstoffreduzierung erfolgen kann, wird dem Katalysator durch Zugabe von Zusatzluft ein mageres Gemisch „vorgetäuscht“. Diese Sekundärluft wird in das Auspuffsystem eingebracht. Erreicht die Sonde ihre Betriebstemperatur, und kann der Motor auf <math>\lambda = 1.0</math> abgemagert werden, setzt die Regelung ein, und die Zusatzluft wird abgeschaltet.</li><li>● Die Lösung dieser Probleme besteht darin, die Veränderung der Toleranzbänder von Sonde und Katalysator so auszulegen, oder mittels der Elektronik das Regelkommando so abzugleichen, daß das Kraftstoff-/Luft-Gemisch auch über der Laufzeit in den für den Katalysator geeigneten sehr engen Grenzen liegt. Aus diesem Grunde muß die <math>\text{O}_2</math>-Sonde z. B. in den Abgasreinigungsanlagen der Mercedes-Benz USA-Fahrzeuge noch alle 30 000 Meilen gewechselt werden.</li></ul>

**Bild III.2-132:** Bei Anpassung und Betrieb von Dreiweg-Katalysatoren mit  $\text{O}_2$ -Sonden-Regelung zu beachtende Schwierigkeiten und technische Gegenmaßnahmen.

Trotz der in diesem Bild genannten technischen Hürden stellt der Dreiweg-Katalysator mit  $\text{O}_2$ -Sonden-Regelung die derzeit modernste und effektivste Abgasnachbehandlung für Pkw mit Otto-Motoren dar: Die Emissionen der im Abgas gesetzlich limitierten Schadstoffe werden nahezu eliminiert. Damit dürfte das Endziel der amerikanischen Emissionskontrollgesetzgebung bezüglich der Schadstoffe  $\text{HC}$ ,  $\text{CO}$  und  $\text{NO}_x$  im Abgas der



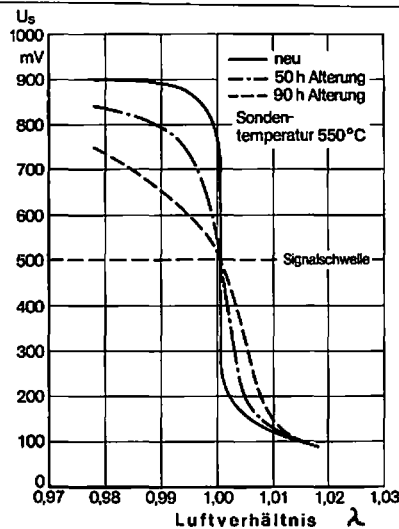
**Bild III.2-133:** Die  $\text{O}_2$ -Sonde zur  $\lambda$ -Regelung beim Einsatz mit 3-Weg-Katalysatoren.

obengenannten Fahrzeuge erreicht sein.

Zur Vervollständigung des zum 3-Weg-Katalysator Gesagten seien noch kurz die Besonderheiten der  $\text{O}_2$ -Sonde erläutert. Bild III.2-133 zeigt zunächst den Schnitt durch die Sonde,



deren äußerer Teil sich im Abgasstrom befindet, während der innere Teil mit der Umgebungsluft in Verbindung steht. In den randnahen Zonen der äußeren elektrisch leitenden Schicht (Elektroden aus einer gasdurchlässigen Platinschicht) laufen – ähnlich wie in einem Katalysator – die im SONDENSCHNITTBILD genannten Reaktionen ab. Verbleibt nach Ablauf der Reaktion noch Sauerstoff, so entsteht aufgrund elektrochemischer Reaktionen eine Spannung entsprechend dem Sauerstoffgehalt des Abgases. Die SONDENSCHNITTSPANNUNG ist somit ein Maß für den Restsauerstoffgehalt des Abgases und direkt ein Indiz für  $\lambda$ . Da bei stöchiometrischem Mischungsverhältnis  $\lambda = 1.0$  ein Spannungssprung auftritt ( $\lambda < 1.0$  = "fettes" Gemisch =  $O_2$ -Mangel;  $\lambda > 1.0$  = "mageres" Gemisch =  $O_2$ -Überschuß), ist daraus ein exaktes Regelsignal zu gewinnen. Die SONDENSCHNITTSPANNUNG wird in einem elektronischen Steuergerät mit einer festgelegten Referenzspannung verglichen. Dieser Zusammenhang ist in Bild III. 2-134 gezeigt. Gleichzeitig veranschaulicht dieses Bild den Einfluß des Toleranzbandes sowie der Alterung und Verbleiung der Sonde.



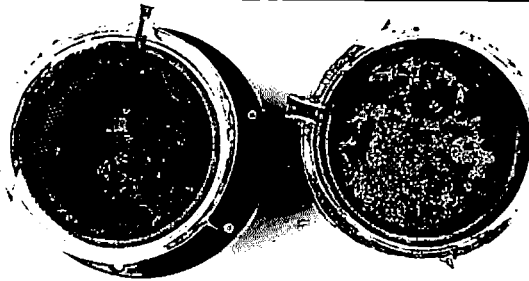
**Bild III.2-134:** Spannungssignal einer neuen und einer gealterten  $O_2$ -Sonde, [683].

Schließlich wird über eine Elektronik ein Elektromagnetventil (Taktventil) angesteuert, das die Kraftstoffmenge entsprechend dem Meßwert korrigiert. Die Frequenz des Taktventiles ist fest im Programmiert und beträgt 70 Hz. Durch das veränderliche Zeitverhältnis (Tastverhältnis) zwischen offenem und geschlossenem Ventil während eines Taktes ( $1/70$  s) wird auf  $\lambda = 1.0$  korrigiert.

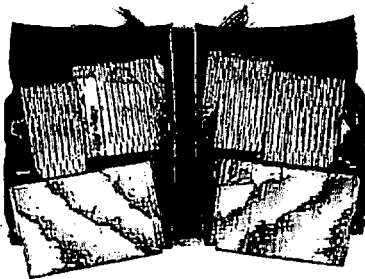
#### 2.5.3.5 Spezielle Probleme der Katalysator-Technologie

Ein Katalysator muß beim Einsatz als Emissionskontrollsystem am Automobil zahlreiche hohe Anforderungen unter recht ungünstigen Bedingungen erfüllen (extrem variierende Motorbetriebsbedingungen, hohe thermische und mechanische Beanspruchungen). Der Weg zur Lösung dieser Probleme führte oft zu Mißerfolgen, besonders auf dem Gebiet der mechanischen und thermischen Resistenz des verwendeten Materials. Bild III. 2-135 veranschaulicht die Folgen von hohen Schwingbeanspruchungen und thermischer Überlast. Der Entwicklungsaufwand würde unbezahlbar, wenn man nicht den eigentlichen Fahrzeugversuchen gewisse Labortests im Sinne einer Vorauswahl vorschalten würde. Hierbei werden Katalysatoren verschiedenster Bauart und Herkunft einem umfangreichen Prüfprogramm unterzogen, das aufgrund gut reproduzierbarer Prüfbedingungen im Entwicklungsstadium zuverlässige Aussagen hinsichtlich der spezifischen Katalysatorqualität und später in der Serienfertigung eine Qualitätskontrolle erlaubt [684].

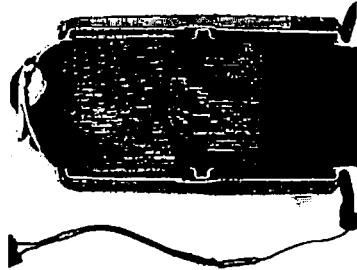
Das in Bild III. 2-136 dargestellte Prüfschema beinhaltet neben der chemischen Grundanalyse des Katalysators Methoden zur Erfassung geeigneter Kenngrößen für Geometrie, Massen und Oberfläche und erlaubt eine Wertung thermischer, reaktionskinetischer, strömungstechnischer und mechanischer Eigenschaften. Aus dem Vergleich der Kenndaten



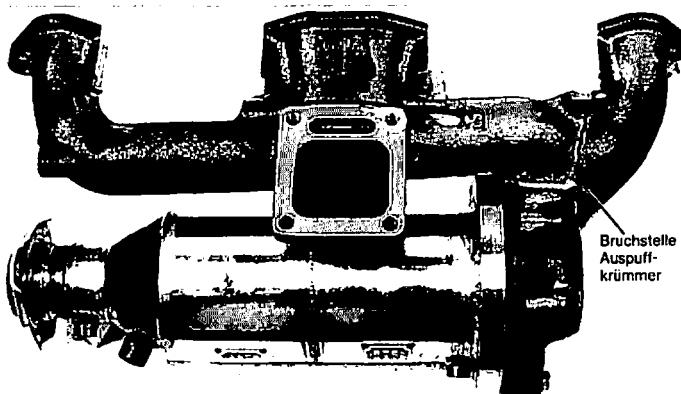
Thermische Zerstörung des Monolithen



Mechanische Zerstörung des Monolithen



Mechanische Zerstörung des Monolithen



Mechanische Dauerhaltbarkeitsprobleme des Katalysator-Auspuffkrümmer-Zusammenbaus

Bild III.2-135: Entwicklungsprobleme bei keramisch-monolithischen motornahen Oxidationskatalysatoren, [617].

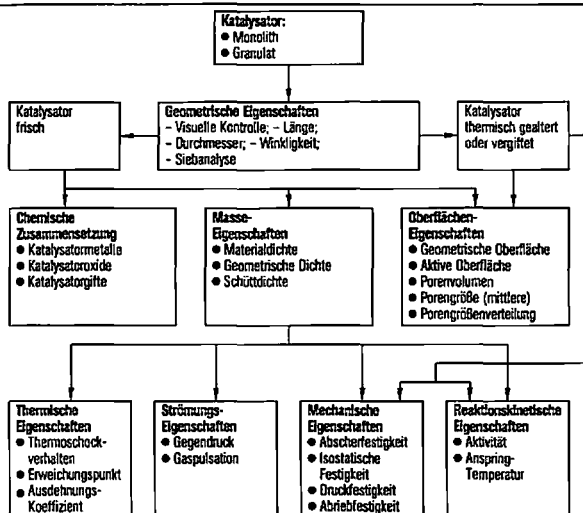


Bild III.2-136: Prüfschema zur Katalysatorqualität, nach [685].

neuer und in zeitraffenden Simulationsprozessen gealterter Katalysatoren lassen sich erste wertvolle Rückschlüsse auf die Lebensdauererwartung im realen Fahrzeugbetrieb ziehen [684].

So zeigt z. B. Bild III.2-137 Ergebnisse solcher Untersuchungen für einen mit Synthesegas beaufschlagten Oxidationskatalysator. Aus den Kurvenverläufen für die CO- und die HC-Umsatzraten sind die beiden für das Aktivitätsverhalten wesentlichen Einflußgrößen Temperatur und Alterungszustand ersichtlich. Die hier zugrundeliegende, in einem Ofen simulierte thermische Alterung führt bei konstant gehaltener Temperatur zu einer merklichen Verschlechterung der erzielbaren Konversionsraten. Bei 210 °C z. B. fällt der Wirkungsgrad von rund 90 % beim frischen Katalysator auf unter 5 % beim gealterten ab. Derartige Aktivitätsverschlechterun-

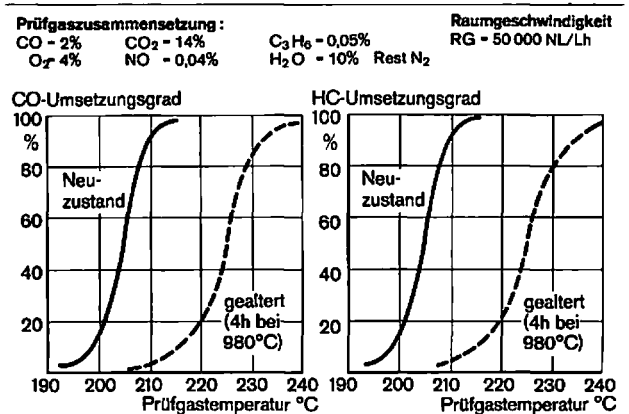


Bild III.2-137: Katalysator-Aktivität im Neuzustand und nach Temperatur-Alterung, [686].

gen spiegeln sich dann in den Resultaten der fahrzeugbezogenen Abgastests wider, bei denen die sowohl vom Temperaturniveau als auch der Schadstoff-Rohemission her ungünstige Warmlaufphase des Motors einen hohen Stellenwert einnimmt [687].

Als wesentliche Ursache für das verschlechterte Aktivitätsverhalten der thermisch gealterten Probe wird die gegenüber dem frischen Katalysator verkleinerte katalytisch wirksame Oberfläche des Katalysatorkontaktes angesehen. In Bild III. 2-126 war bereits der schematische Aufbau eines Edelmetallkontakt-Katalysators, bei dem die primär unzureichend große Oberfläche des monolithischen Trägers durch Überlagerung einer den Katalysatorkontakt aufnehmenden Zwischenschicht beträchtlich vergrößert wird, gezeigt. Wird diese Struktur nun über längere Zeit hohen thermischen Belastungen ausgesetzt, wie dies im praktischen Fahrzeugbetrieb der Fall ist, so treten Fließerscheinungen auf, die ein Einebnen des Berg-Tal-Profiles des Kontaktes und ein mehr oder weniger stark ausgeprägtes Überdecken desselben durch die katalytisch inerte Zwischenschicht und damit letztlich eine Oberflächenreduktion zur Folge haben {688}.

Neben dem thermischen Aktivitätsverlust stellt der Abfall der mechanischen Festigkeitswerte ein weiteres lauffzeitbedingtes Problem dar. Auch hier sind Laborversuche besonders geeignet, in relativ kurzer Zeit objektive Vergleichsdaten zu ermitteln {688}.

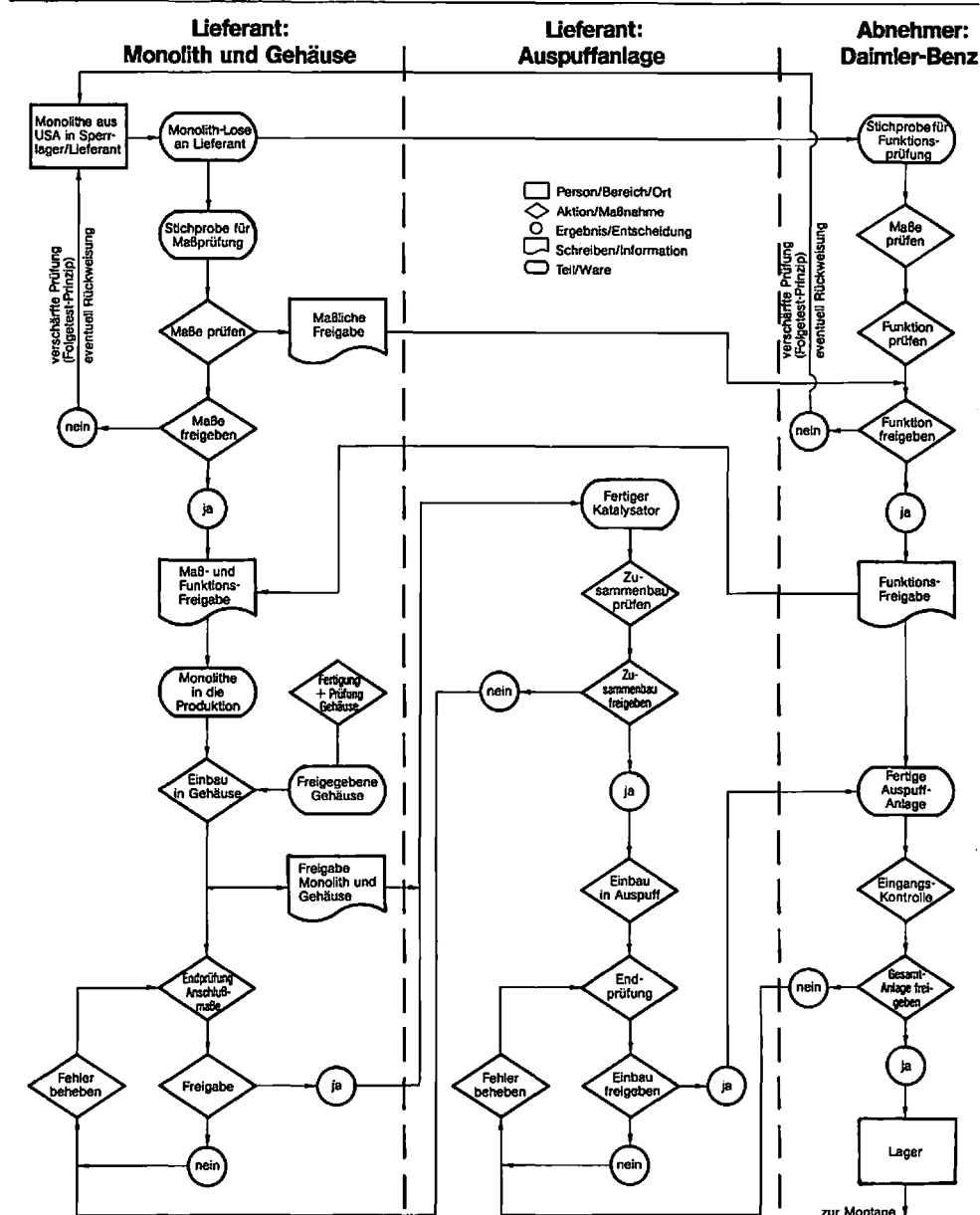
Bevor die anhand der Laborversuche ausgewählten Katalysatoren im Fahrzeug eingesetzt werden können, müssen umfangreiche Änderungen am jeweiligen Basismotor vorgenommen werden. Hierzu zählen konstruktive Änderungen, die durch systembedingte Zusatzmaßnahmen (z. B. Lufteinblasung oder - bei der heute ausschließlichen Verwendung von Edelmetallkatalysatoren - Niederverdichtung) bedingt sind und Anpassung der Gemischsteuerung und der Zündkennlinie an den Katalysatorbetrieb {688}.

Für den Katalysator selbst, der in monolithischer oder granulierter Form vorliegt, müssen, wie schon im Bild III. 2-127 am Beispiel einer sich im Serieneinsatz befindlichen Konstruktion gezeigt war, spezielle Behälter entwickelt werden. Die hochfrequente Abgaspulsation, die starken Schwingbeanspruchungen des Auspuffsystems und nicht zuletzt die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten vom keramischen Katalysatorträger und Gehäuse machen für die Katalysatorhalterung einen hohen technischen Aufwand erforderlich. Das Bild zeigte ferner umfangreiche konstruktive Maßnahmen zur Eindämmung des Wärmefflusses nach außen. Sie sind insbesondere bei motornah angebauten Katalysatoren notwendig, um die Motorraumtemperaturen auf einem Niveau halten zu können, das für die dort untergebrachten Zubehöerteile noch erträglich ist {688}.

Da sich auch das Bauvolumen des Basismotors durch diese Modifikation beträchtlich vergrößert, setzt der fahrzeugseitige Einbau solcher Motoren häufig eine parallele Anpassung der Motorraumgeometrie voraus {688}.

Wegen der bereits angedeuteten Lebensdauer-Problematik der Katalysatoren kommt den Langzeitversuchen eine überragende Bedeutung zu. So muß im US-Zertifikations-Dauerlauf der Nachweis erbracht werden, daß die vorgeschriebenen Abgas-Grenzwerte während einer Laufstrecke von 80.000 km nicht überschritten werden. Sofern hierbei zur Abgasreinigung Katalysatoren eingesetzt sind, so dürfen diese in der USA 49-Staaten-Gesetzgebung nur einmal, in Kalifornien gar nicht ausgewechselt werden.

Es versteht sich, daß diese Versuche gerade bei katalysatorausgerüsteten



**Bild III.2-138:** Prüfschema zur Sicherstellung des Einbaus von Katalysatoren gewünschter und gleichbleibender Leistungsfähigkeit in Serienfahrzeuge im Rahmen der Daimler-Benz Qualitätskontrolle, [689].

Fahrzeugen sowohl einen beträchtlichen zeitlichen als auch finanziellen Aufwand erfordern, zumal dem eigentlichen Zertifikations-Dauerlauf, während dessen keinerlei Modifikation mehr erlaubt ist, ausgedehnte interne Langzeiterproben vorangehen müssen, um notwendige Änderungen des Basissystems erkennen zu können. Bezeichnenderweise ergeben sich für Katalysatorfahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen mit "konventionellen" Abgasreinigungsmaßnahmen wie "Engine Modification", "Man Air Ox" oder Thermoreaktor höhere laufzeitbedingte Verschlechterungsfaktoren für die HC- und CO-Emission [688].

Bei entsprechenden Neufahrzeugen muß daher ein Emissionspegel eingehalten werden, der unter zusätzlicher Berücksichtigung eines die Serienstreuung abdeckenden Sicherheitsabstandes weit unter den zulässigen Grenzwerten liegt [688]. Hier sei auch auf Kap. 5.3.5.6 hingewiesen, das die Problematik der Zertifizierung eines derart "guten" Emissionskontrollsystems wegen seines relativ hohen Verschlechterungsfaktors verdeutlicht.

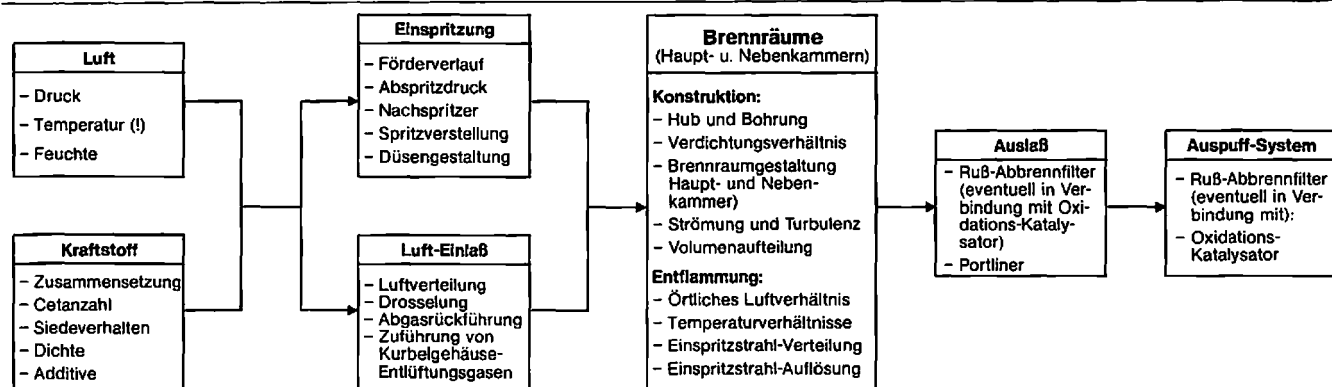
Da die Automobilhersteller Katalysatoren (wobei mit Katalysator die Einheit aus Träger, Beschichtung, Halterung und Gehäuse gemeint ist) nicht selbst produzieren, sondern diese Teile von Zulieferanten beziehen, hielt es z. B. Daimler-Benz für erforderlich, ein eigenes Abnahme- und Freigabeverfahren einzuführen. Dieses Prüfprogramm soll sicherstellen, daß das verwendete Trägermaterial die vorgeschriebene Festigkeit aufweist und die katalytische Beschichtung die erforderlichen Anspringtemperaturen und Umsetzungsraten erbringt. Erst danach werden die Monolithen zum Einbau in die

bei einem weiteren Zulieferanten gefertigten Gehäuse freigegeben. Von den schließlich fertig zusammengebaut angelieferten Katalysatoren werden erneut Stichproben gezogen und geprüft, ehe ein Los zum Einbau in Fahrzeuge freigegeben wird. Der Ablauf dieses recht aufwendigen Programmes ist in Bild III. 2-138 veranschaulicht.

Daimler-Benz hielt diesen finanziellen und organisatorischen Aufwand jedoch für erforderlich, um eine volle Funktionstüchtigkeit der Katalysatoren in der Serienproduktion und besonders im Kundenbetrieb weitgehendst sicherzustellen. Dies ist bei Katalysatorkonzepten absolut erforderlich, denn ein Katalysatorfahrzeug kann bei Katalysatorausfall oder schlecht oder gar nicht arbeitendem System mehr Schadstoffe emittieren als ein Nicht-Katalysator-Fahrzeug.

### 3. Technik und Funktion von Maßnahmen und Systemen zur Emissionskontrolle an Pkw mit Diesel-Motoren

Die bis heute beim Pkw mit Diesel-Motor praktisch eingesetzten Emissionskontrollsysteme bestehen (im Gegensatz zum Pkw mit Otto-Motor) nur aus Maßnahmen zur Entstehungsverhinderung und aus Eingriffen zur Verringerung von entstehenden Emissionen. Verfahren zur Absenkung bereits entstandener Emissionen (z. B. Nachverbrennung von HC, CO, Ruß) befinden sich in der Entwicklung. Ähnlich der beim Otto-Motor bereits



**Bild III.3-1:** Möglichkeiten zur Beeinflussung der Abgaszusammensetzung und damit zur Emissionskontrolle bei PKW mit Diesel-Motoren.

durchgeführten Betrachtungsweise lassen sich die obengenannten Möglichkeiten wiederum in die Bereiche vor, in und nach dem Brennraum einteilen, wie es in Bild III.3-1 dargestellt ist.

Obwohl es bis heute noch kein Gesetz zur Kontrolle der Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase von Pkw mit Diesel-Motoren gibt, sei dieses Thema nachfolgend trotzdem kurz behandelt, um den Zusammenhang zwischen Maßnahmen zur Senkung der Auspuffemissionen und der Rückführung von Kurbelgehäuse-Gasen aufzuzeigen. Wegen des vernachlässigbaren Beitrages der Pkw mit Diesel-Motoren zur Verdunstungsemission soll dieses Gebiet nur der Vollständigkeit halber in Analogie zur Abhandlung der Otto-Motor-Emissionen kurz erwähnt werden.

Andererseits kommt bei der Betrachtung von Bemühungen zur Emissionskontrolle am Pkw mit Diesel-Motor seit Modelljahr 1979 ein weiterer - beim Otto-Motor noch nicht mit-

behandelter - Aspekt hinzu: Die Prüfung dieselmotorischen Abgasrußes - hier speziell die Untersuchung der an die Partikeln gebundenen Kohlenwasserstoffe - auf mögliche Gesundheitsschädlichkeit. Da sich diese Aktivitäten jedoch bis jetzt nur auf Forschung, Prüfung und Auswertung beziehen und noch keine entsprechenden "Emissionskontrollsysteme", d. h. in diesem Fall Maßnahmen zur Beeinflussung möglicher gesundheitsgefährdender Emissionen existieren, sei dieser Problemkreis nicht unter dem Thema "Emissionskontrolltechnik", sondern unter dem später behandelten Komplex "Problembereiche bei Zertifizierungsverfahren" (speziell: Kap. 5.3.4) mitbehandelt.

### 3.1 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse

Während für Pkw mit Otto-Motoren Arbeiten zum Thema "Gase aus dem Kurbelgehäuse" in der Literatur schon Anfang der 50er Jahre beschrieben werden {485}, existieren - zumindest in der US-Literatur - bis heute keine entsprechenden Arbeiten für Pkw mit Diesel-Motoren. Wegen der im Vergleich zum Otto-Motor nur sehr geringen Verbreitung dieser im Jahre 1936 von verschiedenen Herstellern erstmals im Pkw verwendeten Antriebsart beziehen sich die bekannten Untersuchungen zu obengenanntem Thema ausschließlich auf den Nutzfahrzeug-Diesel-Motor. Diese Untersuchungen setzten Anfang der 60er Jahre ein {690}.

Während in der 1964er "Penn State Study" {691} nur Kurbelgehäuse-Gase und HC-Emissionen bei Konstantfahrt-Punkten auf dem Rollenprüfstand getestet wurden, werden in {692} Untersuchungen bei verschiedenen konstanten Drehzahlen und Lasten des US-13 Punkte Motorprüfstandstests (Test für Nutzfahrzeug-Diesel-Motoren) sowie über Schadstoffe wie HC, CO, (CO<sub>2</sub>), NO<sub>x</sub>, Aldehyde, Einzelkohlenwasserstoffe, Nitrosamine und Partikeln (C, N, H, Metalle, Sulfate, lösliche organische Bestandteile) im Kurbelgehäuse-Gas durchgeführt. Bezüglich der Partikeln fand man eine Verlagerung zu größeren Teilchen im Vergleich zu der entsprechenden Verteilung im Abgas.

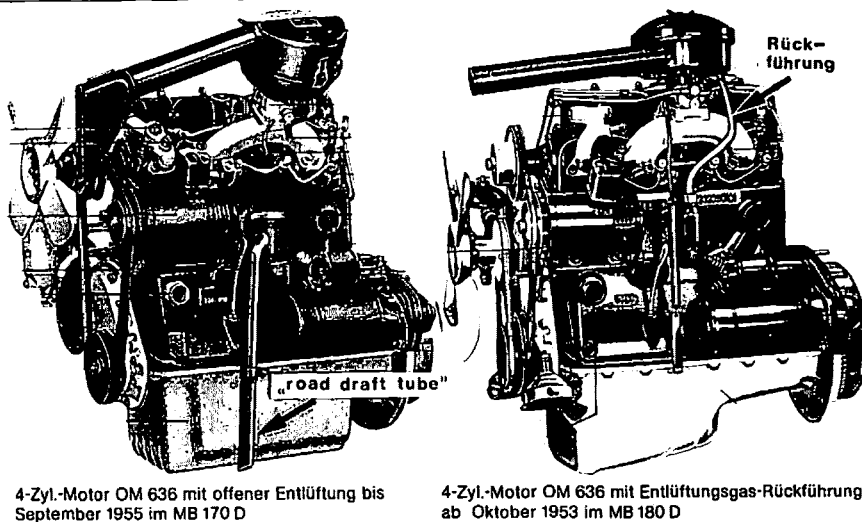
Nitrosamine wurden an den Partikeln im Kurbelgehäuse-Gas nicht festgestellt.

#### 3.1.1 Grund für das Fehlen gesetzlicher Vorschriften über eine Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse von Pkw mit Diesel-Motoren

Bezüglich des Diesel-Motors im Pkw erklärt sich das Fehlen von Arbeiten über Anteil und Beschaffenheit der Kurbelgehäuse-Gase (wie sie beim Otto-Motor vorliegen) auch aus der Tatsache, daß diese Gase beim Diesel-Motor aufgrund des Verdichtens reiner Luft nicht mit unverbranntem Kraftstoff aus dem Kompressionshub (wie beim Otto-Motor) angereichert sind. Dadurch stellen sie keine im Niveau mit den entsprechenden Emissionen des Otto-Motors vergleichbare Schadstoffquelle dar.

Aufgrund dieser Zusammenhänge und der (zumindest bis Mitte der 70er Jahre) geringen Verbreitung des Pkw mit Diesel-Motor auf dem US-Markt kann im wesentlichen der bisherige Verzicht des Gesetzgebers auf Limitierung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse des Diesel-Motors im Pkw erklärt werden. Die kalifornische Emissionskontrollgesetzgebung hatte zwar mit Einsatz Datum 1.4.1963 einen Grenzwert für Kurbelgehäuse-Gase

in Höhe von 0.15 % des zugeführten Kraftstoffes erlassen (und dieses Gesetz bezog sich auf alle Motorfahrzeuge), da man aber festgestellt hatte, daß Diesel-Motoren diesen Wert weit unterschritten, befreite das CMVPCB am 19.06.1962 den Diesel-Motor von der Forderung zum Einbau von Teilen zur Kontrolle dieser Emissionen {693}. Die entsprechende Emissionskontrollgesetzgebung des Bundes (EPA) ist bis heute nur auf Pkw mit Otto-Motoren beschränkt.



**Bild III.3-2:** Übergang vom offenen Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem auf das Prinzip der Kurbelgehäusegas-Rückführung an Mercedes-Benz PKW mit Diesel-Motoren

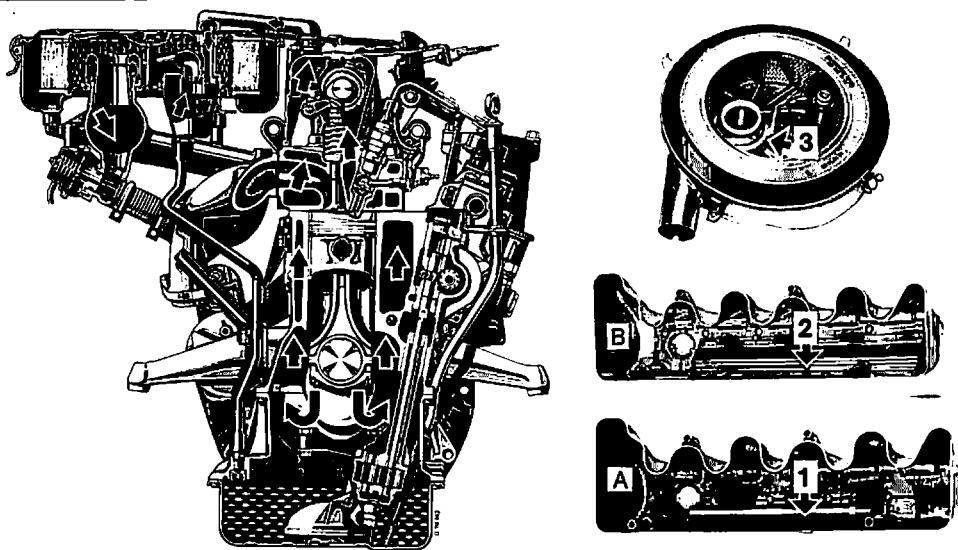
Aber auch ohne eine umwelt-schutzbezogene gesetzliche Forderung nach Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse ersetzten verschiedene Nutzfahrzeug-Hersteller die bis dahin allein verwendete "Road Draft Tube" durch Rückführungssysteme. Auf dem Pkw-Sektor führte Daimler-Benz ab Oktober 1953 beim Übergang vom Motor des Mercedes-Benz 170 D auf den Motor des Mercedes-Benz 180 D

eine geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung ein. Die beiden Motoren und ihre Kurbelgehäuse-Entlüftungssysteme sind in Bild III.3-2 gegenübergestellt. Der wichtigste Grund für eine Absaugung der Kurbelgehäuse-Gase war bei diesem Übergang das Bestreben, Wasserdampf aus dem Kurbelgehäuse und dem Nockenwellenraum zu entfernen und dadurch Ölverschlämmung und Rostbildung (z. B. an der Nockenwelle) zu vermeiden.

### 3.1.2 Die Bedeutung eines Kontrollsystems für die Entlüftungsgase aus dem Kurbelgehäuse von Pkw mit Diesel-Motoren beim Einsatz von Abgasrückführung

Im Zuge fortschreitender Emissionskontrollbemühungen mußte auch am Pkw Diesel-Motor Abgasrückführung zur  $\text{NO}_x$ -Senkung eingeführt werden. Automobilhersteller, die an ihren Motoren aus dem zuvor genannten Grund eine Rückführung der Gase aus dem Kurbelgehäuse und damit automatisch eine - gesetzlich (noch) nicht geforderte - Emissionskontrolleinrichtung verwendet hatten, sahen sich mit der Anwendung von EGR vor ein gravierendes Problem gestellt: die nicht ölfreien Gase vermischten sich mit dem rückgeführten Abgas und verklebten die im Abgas befindlichen Partikeln. Hohe Verschmutzung z. B. von Einlaßkanal, Einlaß-Ventiltulpe und dem Bereich hinter dem obersten Kolbenring sowie erhöhter Verschleiß der Motoren durch Ölverschmutzung waren die Folge.

Der Einsatz der EGR-Technologie bewirkte also ein neues Entwicklungsziel bei der Kontrolle von Gasen aus dem Kurbelgehäuse: Die Entlüftungsgase mußten möglichst öl-



**Bild III.3-3:** Entwicklung eines Systems zur weitestgehenden Abscheidung des in den Entlüftungsgasen aus dem Kurbelgehäuse eines PKW-Diesel-Motors enthaltenen Öls (A Entwicklungsstufe I: Ventildeckelhaube mit Ölabscheiderohr (1); B Entwicklungsstufe II: Ventildeckelhaube mit Stufenblech (2) sowie Luftfiltergehäuse mit Zyklon-Ölabscheider (3)), [694].

frei gemacht werden. Ihre Gesamtmasse sollte so gering wie möglich sein. Daimler-Benz ersetzte hierzu das zunächst verwendete "Beruhigungsrohr" in der Ventildeckelhaube ab Modelljahr 1980 (Kalifornien-Motoren mit EGR) durch ein stufenartiges Blech. Die beiden Systeme sind in

Bild III.3-3 gezeigt.

Das "Stufenblech" be-

wirkt eine so hohe Ölabscheidung aus den Blowby-Gasen, daß der im Luftfilter befindliche nachgeschaltete Zyklon die verbleibenden Ölreste abtrennen kann. Dadurch werden die in den Ansaugtrakt zurückgeführten Kurbelgehäuse-Entlüftungsgase nahezu ölfrei gemacht. Der Wassergehalt dieser Gase stellt heute kein nennenswertes Problem dar, weil Wasser durch Additive im Öl in üblichem Maße gebunden werden kann. Auch das im Zyklon eventuell zusammen mit abgeschiedenem Öl abgetrennte Wasser gelangt in die Ölwanne, wo es ebenfalls durch diese Additive gebunden wird. Erhöhter Motorverschleiß durch die Verbindung von EGR und Gasen aus dem Kurbelgehäuse konnte durch die oben genannte Entwicklung des Kontrollsystems für diese Gase an Mercedes-Benz Pkw-Dieselmotoren auch bei Einsatz der im Vergleich zum Otto-Motor sehr hohen Abgasrückführungs-raten vermieden werden [694].

Die Problematik des synergistischen Effektes von Entlüftungsgasen aus dem Kurbelgehäuse und EGR wurde im Detail betrachtet, weil das Argument des erhöhten Motorverschleißes bei Einsatz von EGR zur Erfüllung der für den Pkw-Dieselmotor ab Modelljahr 1981 vorgeschriebenen, jedoch nur schwer zu erreichenden  $\text{NO}_x$ -Grenzwerte für einige Automobil-Hersteller bei den Juni 1979-Hearings zur  $\text{NO}_x$ -Grenzwert-Festlegung bis 1984 in den USA (Washington D.C.) unter Umständen entscheidend für die Gewährung eines "Waiver" (d. h. einer Ausnahmegenehmigung) seitens der US-EPA wurde.

### 3.2 Verdunstungs-Emissionen

Aufgrund der geringen Flüchtigkeit des Diesel-Kraftstoffes erachtete es der Gesetzgeber bis heute nicht für erforderlich, Grenzwerte für Verdunstungs-Emissionen aus der Kraftstoffanlage eines Pkw mit Diesel-Motor zu erlassen. Es existieren also auch keinerlei Kontrolltechniken für diese Emissionen.



### 3.3 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff: Eingriffe vor dem Brennraum

Nach der ersten, von Rudolf Diesel selbst im Jahre 1895 an dem nach ihm benannten Motor durchgeführten Abgasanalyse dauerte es genau 80 Jahre, bis sein Motor sich als Pkw-Antriebsquelle den Anforderungen einer umfangreichen Emissionskontrollgesetzgebung stellen mußte. Während in diesem langen Zeitraum weder aus Wirtschaftlichkeits- noch aus Umweltschutzgründen Anlaß zur Beschäftigung mit den gasförmigen Emissionen gegeben war, wurde der Feststoffemission schon frühzeitig starke Beachtung geschenkt. Als charakteristisches Beispiel für die bezüglich einer Rauchbegrenzung entwickelten Legislative seien die ersten diesbezüglichen Gesetzgebungsschritte Kaliforniens in

Datum	Gesetz	Inhalt
1939	Sec. 673.5 des Vehicle Code Sec. 27153 des Vehicle Code	Kein Motorfahrzeug darf in einer Art betrieben werden, die eine Emission von übermäßigem Rauch, Gas, Öl oder Kraftstoff verursacht. Neubenennung von Sec. 673.5 und Einbeziehung des Verbotes übermäßiger Flammenbildung in die obengenannten Vorschriften.
1947	Sec. 24242 des California Health & Safety Code	Niemand darf – aus welcher Einzelemissionsquelle auch immer – umweltverunreinigende Stoffe über mehr als 3 Minuten je Stunde in die Atmosphäre entlassen, die a) dem Schwärzungsgrad 2 (oder dunkler) der Ringelmann-Skala entsprechen oder b) von solcher Dichte sind, daß sie die Sicht eines Beobachters so stark (oder mehr) trüben wie Rauch, der einem Ringelmann-Wert von 2 entspricht. In dieser Zeit wird auch der „Los Angeles County Air Pollution Control District“ (LACAPCD) gebildet.
1948		Der LACAPCD gründet eine „smoke school“ und trainiert Personal auf Anwendung der Sec. 24242 bezüglich Diesel-Nutzfahrzeugen und stationären Quellen. Es wird von ausgezeichnete Wiederholbarkeit der Ringelmann-Bewertung berichtet. <sup>1)</sup>
20. 9. 1963		Das „California Board of Public Health“ (CBPH) nimmt die folgenden Standards für die Rauchemission von Motorfahrzeugen an: a) höchstens Ringelmann Nr. 1 (generell) oder b) höchstens Ringelmann Nr. 2 (wenn ein Rauch dieser Trübung für nicht mehr als 5 s pro Ereignis emittiert wird).
10. 6. 1966		Das CBPH nimmt die folgenden Standards für Abgasgeruch und Reizung an: 1) Die mittlere subjektiv empfundene Geruchsstärke einer Emission soll kleiner sein als diejenige, die von Dieselfahrzeugen mit horizontaler Auspuffleitung verursacht wird, wobei diese Fahrzeuge für solche Fahrzeuge repräsentativ sein müssen, die 1966 im Einsatz waren und deren Geruchskonzentration um wenigstens 80% reduziert wurde. 2) Es darf bei mindestens 75% des Prüfgremiums keine feststellbare Augen-, Nasen- oder Halsreizung hervorgerufen werden. In den weiteren Bestimmungen finden sich z. B. folgende Vorschriften: Das Prüfgremium besteht aus 10 Personen; Geruch und Reizung werden 10 ft (≈ 3,3 m) hinter dem Auspuffende geprüft; das Abgas wird im Leerlauf und bei Vollgasbeschleunigung geprüft.
1966	Senate Concurrent Resolution No. 18 Assembly Bill No. 75	Erkennt die Erfolge der gesetzessanwendenden Behörden in Kalifornien an und fordert sie zur Fortsetzung und Intensivierung ihrer Bemühungen, die Rauchbegrenzungsvorschriften anzuwenden, auf. Fordert vom gewerblichen Güterverkehr, an Kontrollstellen wie z. B. Wäge-Stationen, zu halten und das Fahrzeug der „California Highway Patrol“ zur Überprüfung – auch der Rauchemission – zur Verfügung zu stellen.

1) Von 1955 bis 1966 hat der LACAPCD ≈ 25 000 Fälle von übermäßigem Rauch bei Fahrzeugen beanstandet (davon ≈ 60% Diesel). Von 1960 bis 1966 hat die „California Highway Patrol“ ≈ 8000 Straßenzettel/Jahr für übermäßige Rauchemission bei Fahrzeugen beanstandet (≈ 50% Diesel).

**Bild III.3-4:** Anfänge der Kalifornischen Gesetzgebung zur Begrenzung von Rauch- und Geruchsemissionen aus Motorfahrzeugen, nach [695].

Bild III. 3-4 zusammengefaßt. Im Gegensatz zu den später bezüglich der Partikelemission angestrebten Zielen handelte es sich bei diesen behördlichen Vorschriften (wie auch in allen anderen Ländern mit Diesel-Fahrzeugen) darum, die Diesel-Rauchemissionen zu reduzieren. Hierbei wurde der Diesel-Rauch nicht als starker Mitverursacher der allgemeinen Luftverunreinigung, sondern als lokale und optische Belästigung bekämpft. Der geringe Beitrag der Diesel-Motoren zur Luftqualitätsverschlechterung wird deutlich, wenn man für das Jahr 1966 die Situation in Los Angeles betrachtet: Alle im Stadteinsatz betriebenen Diesel-Motoren trugen nur mit 2 t/Tag zu der gesamten Feststoffemission von 115 t/Tag in dieser Region bei. Eine Untersuchung der Rauchdichteverteilung im praktischen Verkehr, durchgeführt an Freeway-Steigungen (die Vollastbetrieb erforderlich machten) ergab 1966 an 3690 kontrollierten Diesel (Nutz-) Fahrzeugen, daß 61 % unter Nr. 1 der Ringelmannskala, 71 % unter Nr. 1,5 und 81 % unter Nr. 2 lagen. Nur 4 % hatten Werte > Nr. 3 (Summenhäufigkeit). Das recht niedrige

Rauchniveau wurde als Erfolg der langjährigen Bemühungen Kaliforniens auf dem Gebiet der Rauchemissionskontrolle gewertet {696}.

Die Bemühungen zur Begrenzung und Senkung des Rußes im Abgas galten jedoch schon recht früh nicht nur der Beseitigung einer sichtbaren und damit besonders deutlich als Belästigung empfundenen Emission, sondern auch der Erfassung und (wenn möglich) Verringerung einer eventuellen Gesundheitsgefährdung durch die diesen Rußpartikeln angelagerten Substanzen {697}.

Als dann ab Modelljahr 1975 der Pkw-Diesel-Motor in den 49 Staaten der USA darüber hinaus Grenzwerte für CO, HC und NO<sub>x</sub> erfüllen mußte, bereitete er bezüglich der bei Otto-Motoren so kritischen CO-Emission aufgrund seiner stets bei  $\lambda > 1$  stattfindenden Verbrennung nie ein Problem, da CO nur dort entsteht, wo grundsätzlicher oder örtlicher Luftmangel herrscht. Auch beim HC-Ausstoß zeigt die dieselmotorische Verbrennung verfahrensinherente Vorteile gegenüber dem Otto-Motor (Kraftstoff wird erst gegen Ende des Kompressionshubes in den Brennraum eingespritzt, während der Verdichtung kann also kein Kraftstoff/Luft-Gemisch in Spalträume gelangen und dort unverbrannte Gemischreste bilden; nur geringe Kraftstoffmengen gelangen an gekühlte Brennraumwänden; Gemischbildungs- und Gemischverteilungsprobleme im instationären Betrieb entfallen), so daß während der ersten  $\approx 40$  Jahre des Diesel-Motors im Pkw-Einsatz (1936 bis 1975) keinerlei Techniken zur Kontrolle der gasförmigen Auspuffemissionen erforderlich wurden. Auch die nachfolgenden 6 Jahre mit den relevanten Emissionskontrollgesetzen und Grenzwerten (1975 bis 1979) brachten dem Pkw-Diesel-Motor noch keine nennenswerten Schwierigkeiten, da er in der Lage war - bis zu einem bestimmten Niveau - die schärfsten Anforderungen mit relativ geringem technischen Aufwand zu erfüllen.

Das kritische Niveau war 1980, d. h. mit dem Einsatz der in den 1977er "Clean Air Act Amendments" verankerten Emissionskontrollgesetzgebung für Modelljahr 1981 und später, erreicht. Die ab Modelljahr 1981 vorgeschriebenen NO<sub>x</sub>-Standards, besonders auch in Verbindung mit den Partikel-Grenzwerten ab Modelljahr 1982, brachten den Pkw-Diesel-Motor nicht nur schlagartig an seine Anwendbarkeitsgrenze, sondern bargen - in Verbindung mit den gleichzeitig erhobenen Forderungen eines Nachweises der Kurz- und Langzeit-Gesundheitsunschädlichkeit seiner Emissionen - das Potential des entgültigen "Aus" für diese bis heute wirtschaftlichste Antriebsquelle von Kraftfahrzeugen.

Ohne den Diesel-Motor aber hätte z. B. Daimler-Benz die Kraftstoffverbrauchs-Sollwerte der entsprechenden US-Gesetzgebung {698} für die Modelljahre 1978 bis 1985 nicht erfüllen können und gemäß des in einem solchen Fall anzuwendenden Gesetzes je 1/10 mpg und nicht erfüllendes verkaufte Fahrzeug eine Strafe von 5 US\$ bezahlen müssen (unter der - gültigen - Annahme, daß Daimler-Benz sich wegen der Nicht-Einhaltung des US-Flottenverbrauchsgesetzgebung nicht vom US-Markt zurückgezogen hätte). Damit wären z. B. im Modelljahr 1978 Mindest-Strafzahlungen von  $\approx 4$  Millionen US\$ fällig geworden.

Bevor an späterer Stelle gezeigt wird, daß diese Gefahr für den Diesel-Motor und die derzeit auf seinen Einsatz angewiesene Kraftfahrzeugindustrie durch das mit hohem Aufwand seitens der Automobilhersteller schließlich erreichte Einlenken des Gesetzgebers vermieden werden konnte, seien in den nachfolgenden Kapiteln (in Anlehnung an Bild III.3-1) zunächst diejenigen Einflüsse und Maßnahmen näher betrachtet, denen im Rahmen von Emissionskontrollbemühungen am Pkw Diesel-Motor Beachtung zu schenken ist. Darüber hinaus werden die Grenzen und Konsequenzen von Eingriffen in das dieselmotorische Verbrennungsprinzip aufgezeigt.

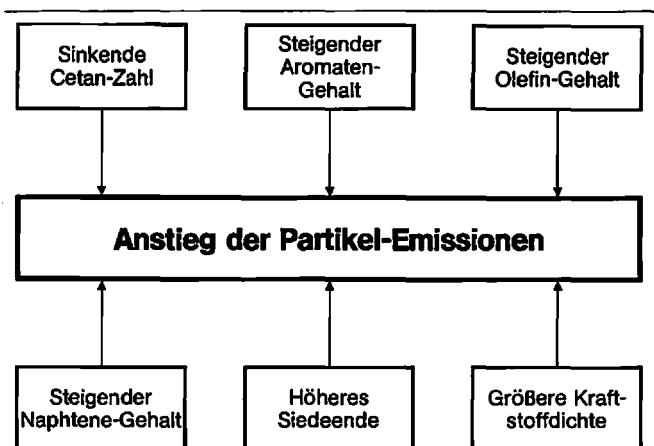
### 3.3.1 Ansauglufttemperatur

Die Ansauglufttemperatur bestimmt die Dichte der dem Verbrennungsprozeß zur Verfügung gestellten Luft. Auf diese Luftmasse und den darin enthaltenen Sauerstoffanteil ist die Masse des eingespritzten Kraftstoffes abgestimmt. Verringert sich nun z.B. die Sauerstoffmasse im angesaugten Luftvolumen aufgrund einer Temperaturerhöhung der Ansaugluft, so ist das ehemals für rauchfreien Betrieb vorgesehene und vorhandene  $\lambda$  im Bereich des eingespritzten Kraftstoffes nicht mehr gewährleistet. Die örtlich resultierende unvollständige Verbrennung führt dann zu einem Anstieg der CO-, HC- und besonders der Partikelemissionen. Der Einfluß auf  $\text{NO}_x$  ist nur tendenziell gegeben, da mit geringerer Luftmasse auch geringere Masse atmosphärischen Stickstoffs zur Stickoxidbildung bereitgestellt wird.

Es muß daher das Ziel der Ansaugtraktführung im Motorraum sein, daß eine unbeabsichtigte Erwärmung der angesaugten Luft ausgeschlossen wird.

### 3.3.2 Kraftstoff-Einflüsse

Die gesetzlichen Auflagen bezüglich Kraftstoffverbrauch, Abgasemission, Ruß- und Geräusch-Emissionen können von der Motorenindustrie kaum erfüllt werden, wenn eine Änderung der Kraftstoffstruktur des heutigen Dieselkraftstoffes zu Lasten der Motorenhersteller geht. Eine Verbesserung der Normung des Dieselkraftstoffes oder überhaupt die Einführung einer Normung sind unumgänglich, wenn nicht jahrelange Entwicklungsarbeiten am Motor durch eine gleichzeitig verschlechterte Kraftstoffqualität zunichte gemacht werden und der Diesel-Motor einen Teil seiner Wirtschaftlichkeit verlieren sollen.

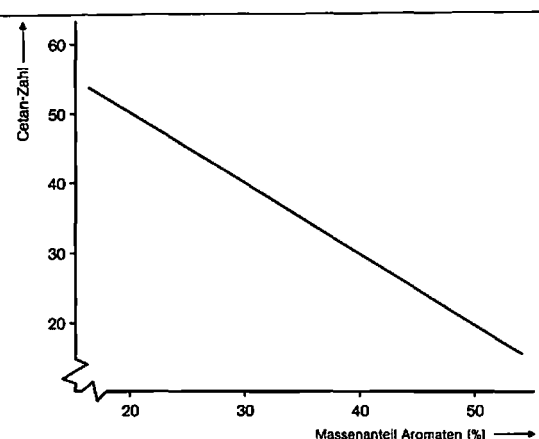


**Bild III.3-5:** Kraftstoffeigenschaften, die beim PKW-Diesel-Motor zu einem Anstieg der Partikel-Emissionen führen, nach [700].

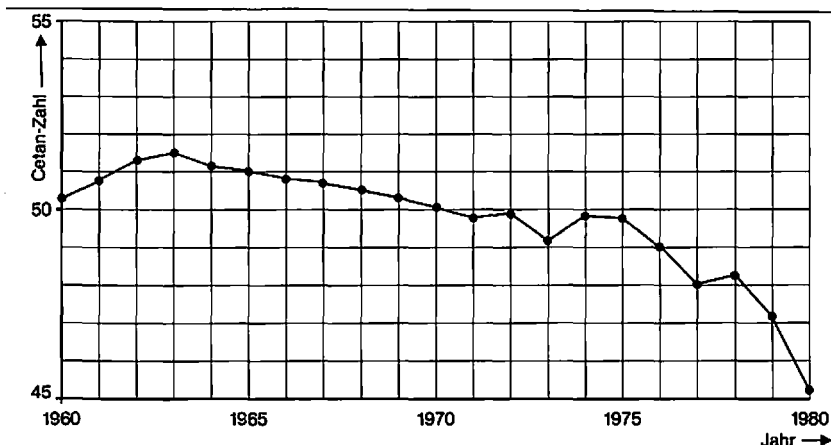
Organics" (PBO's) das eigentliche Ziel, so ist ein Partikel-Grenzwert ein zweifelhaftes Mittel, da sowohl verschiedene Kraftstoffe wie auch verschiedene dieselmotorische Verbrennungsverfahren (Vorkammer, Wirbelkammer, Direkteinspritzung) bei gleicher Partikelemission unterschiedliche PBO-Anteile aufweisen [699]. Bild III.3-5 faßt die wesentlichsten Kraftstoffmerkmale zusammen, die zu steigender Partikelemission führen.

### 3.3.2.1 Aromatengehalt und Cetanzahl

Die Cetanzahl kennzeichnet die Zündwilligkeit des Dieselkraftstoffes. Eine kleine Cetanzahl bewirkt einen langen Zündverzug (Zeitspanne vom Einspritzbeginn bis zur Zündung), und dadurch ergibt sich im Brennraum ein steilerer Druckanstieg  $dp/d\alpha$ . Dieser Einfluß ist sehr stark vom Verbrennungsverfahren abhängig. Beim Direkteinspritz-



**Bild III.3-6:** Abhängigkeit der Cetan-Zahl vom Aromaten-Gehalt des Kraftstoffes für den Siedebereich von 150 °C bis 350 °C, [701].



**Bild III.3-7:** Entwicklung der Cetan-Zahl des Kraftstoffes Typ C-B für PKW mit Diesel-Motoren in den USA von 1960 bis 1980, nach [702].

motor tritt zusätzlich ein starker  $\text{NO}_x$ -Anstieg auf, wie es tendenzmäßig auch beim Nebenkammernmotor der Fall ist.

Bild III.3-6 zeigt den Zusammenhang zwischen Cetanzahl und Aromatengehalt für den Siedebereich 150 bis 350 °C. Das Bild verdeutlicht, daß mit höherem Aromatengehalt die Cetanzahl absinken muß. Dies wird in der Zukunft zwangsläufig geschehen, weil die

schweren Destillate bei der Bearbeitung in den bevorzugten Konversionsanlagen entsprechend reagieren. Dies führt aber unweigerlich zu einem Anstieg der Partikelemission, der zusätzlich zu den gesetzlich geforderten Absenkungsraten vom Automobilhersteller durch technische Maßnahmen kompensiert werden muß.

Diese hier zu erwartende zusätzliche Problematik wird deutlich, wenn man eine für den USA-Markt erstellte Kraftstoffübersicht des "US-Department of Energy" für die Jahre 1960 bis 1980 betrachtet. Bild III.3-7 greift die Entwicklung der Cetanzahl über diesen Zeitraum heraus und läßt durch Extrapolation der dargestellten Tendenz für die Jahre 1985 bis 1987 (falls die Mineralölindustrie keine Tendenzwende herbeiführen oder wenigstens ein unteres Limit garantieren kann) eine Durchschnitts-Cetanzahl von nur noch 40 erkennen.

#### 3.3.2.2 Kraftstoffdichte

Aufgrund der molekularen Struktur besitzen Kraftstoffe mit höherem Aromatengehalt und höherem Siedende eine größere Dichte. Ein Diesel-Motor erfordert bei gegebenen Konstruktionsparametern (wie z.B. Ansaugsystem und Steuerzeiten) für eine einzuhaltende Abgastrübung ein bestimmtes  $\lambda$ . Diesem  $\lambda$  ist ein bestimmtes Einspritzvolumen und damit eine definierte Einspritzmasse auslegungsmäßig zugeordnet. Ändert sich jetzt durch Verwendung eines anderen Kraftstoffes die Kraftstoffdichte, wird das obengenannte zum rauchfreien Betrieb erforderliche  $\lambda$  trotz gleichgebliebenen Einspritzvolumens aber aufgrund der veränderten Einspritzmasse nicht mehr erreicht, d.h. es besteht analog zu der in Kap. 3.3.1 dargestellten Folge einer Lufttemperaturänderung die Gefahr eines Anstiegs der Partikelemissionen.

Die obengenannte einzuhaltende Abgastrübung wird durch gesetzliche Partikel-Grenzwerte (auch in Form einer Schwärzungszahl) festgelegt. Das dabei einzuhaltende  $\lambda$  muß außer Dichteschwankungen des Kraftstoffes auch Schwankungen des barometrischen Luftdruckes und der Lufttemperatur sowie Toleranzen in der Einspritzpumpe (Volumenvariationen) beinhalten. Damit ist bereits die generelle Problematik der existierenden und vom Motorenbauer zu berücksichtigenden - zum Teil aber nicht weiter einschränkba- ren - Toleranzen bei den speziellen dieselmotorischen Gegebenheiten angedeutet.

#### 3.3.2.3 Siedeverhalten

Ein erhöhtes Siedeende zeigt ähnliches motorisches Verhalten wie ein erhöhter Aromatengehalt. Steigt bei einem erhöhten Siedeende noch der Aromatengehalt zusätzlich, so gibt es nochmals eine Verschlechterung der Abgasemissionen, des Verbrauchs und Geräusches. Der Vorkammer-Motor reagiert auf Kraftstoffe mit erhöhtem Siedeende mit steigenden Partikel-Emissionen.

#### 3.3.2.4 Additive

Schon 1966 wird in {703} über Kraftstoff-Additive zur Absenkung der Rauchemissionen berichtet, die zu dieser Zeit in einigen europäischen Ländern gerade in den Handel

gekommen waren. Die Untersuchungen zeigten, daß mit 0,25 % Additiv-Konzentration das Rauchniveau in Hartridge Einheiten ("Hartridge Smoke Unit", HSU) etwa um die Hälfte gesenkt werden konnte, wenn man von Betriebszuständen bei annehmbaren Rauchwerten ausgegangen war {704}. Andere Arbeiten werden in {703} zitiert und bestätigen dieses Ergebnis.

Beim erstmaligen Anwenden von Additiven führte man deren rauchsenkende Wirkung auf zwei mögliche Wirkungsmechanismen zurück:

- entweder wirkte das Additiv dispersiv, indem es die Rußpartikeln zu feineren, weniger sichtbaren Teilchen zerbrach, wobei die Gesamt-Rußmasse jedoch nicht reduziert wurde,
- oder das Additiv wirkte auf den Verbrennungsprozeß im Sinne einer tatsächlichen Verringerung der Gesamt-Rußmasse ein und bewirkte darüber hinaus eine Absenkung des sichtbaren Rauches.

Spätere Arbeiten zeigten, daß die zweite Annahme zutraf. Die Möglichkeit des Einsatzes derartiger Additive warf zwar kein praktisch/technisches, wohl aber ein organisatorisch/rechtliches Problem auf, das hier kurz angedeutet werden soll: Additive können entweder dazu benutzt werden, das Rauchniveau von Motoren unter Beibehaltung der angegebenen Leistung zu senken, sie können aber auch dazu dienen, Motorleistungen bei gleichbleibendem Rauchniveau anzuheben. Für den Automobilhersteller ergibt sich - falls die Additive separat vom Kraftstoff gehandelt werden - das Problem, daß er nicht weiß, ob ihr Einsatz erfolgt oder nicht. Obwohl durch Additive eine 15 % höhere Leistung möglich wäre, kann er daher Leistungsangaben nur auch additivfreien Kraftstoff beziehen.

Es muß außerdem darauf hingewiesen werden, daß die zur Partikel-Reduktion recht wirksamen Barium-Verbindungen die Gefahr einer Rückstandsbildung an Einspritzdüsen und auch dem Kolbenboden bergen. Die Barium-Rückstände auf dem Kolben können, da sie nicht wie Rußablagerungen zeitweise wieder weggebrannt werden (z. B. bei Vollastbetrieb) zur bleibenden Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses und sogar zum Anschlagen des Kolbens führen.

Wegen möglicher Gesundheitsgefährdung wurden in den USA Vorschriften erlassen, nach denen Kraftstoffzusätze generell genehmigungspflichtig sind {705} und in Kalifornien wurden derartige Zusätze auf Metallbasis, z. B. auch MMT (Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl) ab Einführung von bleifreiem Kraftstoff verboten, um Beeinträchtigungen der Katalysatorwirksamkeit durch die obengenannten Ablagerungen zu vermeiden {706}.

### 3.3.3 Einspritzausrüstung

Zu den wesentlichsten Motorparametern, besonders im Hinblick auf künftige Emissionskontrollmaßnahmen, gehören alle zum Komplex der Einspritzausrüstung zählenden Größen. Enorme Detailarbeit kann hier noch Schritt für Schritt Erfolge bringen. Diese Maßnahmen zeigen so lange keine Verschlechterungsfaktoren über der Fahrzeuglebensdauer

wie es gelingt, alle damit verbundenen Toleranzen in den Griff zu bekommen.

### 3.3.3.1 Förderverlauf

In den zurückliegenden Jahren wurde der Förderverlauf am Pkw-Diesel-Motor zur Erzielung eines niedrigen Geräuschniveaus bereits so optimiert, daß die maximale Energieumsetzung erst nach OT erfolgte. Dieser, gegenüber einem rein leistungs-optimierten Förderverlauf am Anfang "gestrecktere" Verlauf (der eine längere Förderdauer bedeutet) wirkte sich gleichzeitig positiv besonders auf das  $\text{NO}_x$ -Niveau aus.

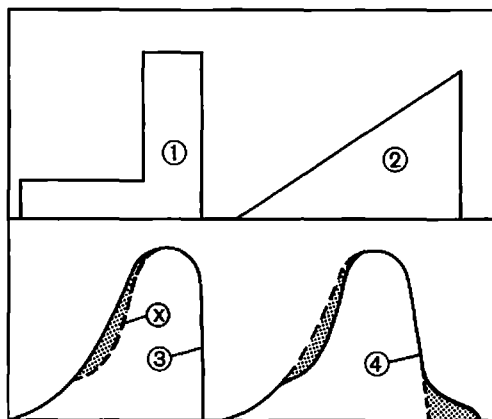
Der so zwischen Kraftstoffverbrauch, Geräusch, Leistung und Emissionen optimierte Förderverlauf konnte den immer strenger werdenden Vorschriften zur  $\text{NO}_x$ -Absenkung jedoch nicht mehr genügen, so daß eine weitere "Streckung" seines Verlaufes erfolgen mußte. Dadurch wurden Spitzendrücke und Spitzentemperaturen so weit abgesenkt, daß abermals günstigere  $\text{NO}_x$ -Werte möglich waren.

Außer daß dem "Strecken" des Förderverlaufes ohnehin Grenzen durch Erhöhung des Kraftstoffverbrauches gesetzt sind, beinhaltet diese Maßnahme auch die Gefahr steigender HC-Emissionen, wenn bei der notwendigen Modifikation der Einspritzpumpe Schubspritzer auftreten. Dies ist dann der Fall, wenn das Pumpenelement im Schub keine absolute Nullförderung garantiert. Je flacher hier die Steuerkante verläuft, desto problematischer wird es bei den vorgegebenen geometrischen Abmessungen (z. B. Sauglochdimensionierung), sowohl Null- wie Vollastförderung exakt sicherzustellen.

Je mehr  $\text{NO}_x$ -Verbesserungen durch einspritztechnische Maßnahmen, wie z. B. die hier gezeigte Förderverlaufanpassung, möglich sind, um so weniger muß die mit gravierenden Nachteilen verbundene Technologie der Abgasrückführung eingesetzt werden. Die derzeit gültigen  $\text{NO}_x$ -Grenzwerte sind jedoch allein mit Maßnahmen an der Einspritzausrüstung nicht mehr erreichbar.

### 3.3.3.2 Einspritzverlauf und Abspritzdruck

Bild III.3-8 zeigt den prinzipiellen Verlauf des Einspritzverlaufes bei idealem, normalem und verschlepptem Abspritzen. Das verschleppte Schließen der Düsennadel ist



**Bild III.3-8:** Einspritz-Verläufe für PKW-Vorkammer-Dieselmotoren: ① und ② eventuell optimal; ③ gewünscht: flacher Anstieg/steiler Abfall; ④ real: wie ③, aber verschleppter Abfall. ⑤ wegen Geräusch und  $\text{NO}_x$  besser als ③.

in jedem Fall nachteilig und kann bereits zu einem HC-Anstieg führen.

Der Abspritzdruck wird durch den max. Brennraumdruck definiert, wobei der zugehörige Federdruck der Düse 5 bis 10 bar höher angesetzt wird. Diesen Öffnungs- oder Abspritzdruck muß die ankommende Druckwelle überwinden. Wenn Maßnahmen zur Geräusch- oder  $\text{NO}_x$ -Verbesserung durch die im vorigen Kapitel beschriebene Förderverlaufverlängerung aufgrund geometrischer Verhältnisse nicht weitergeführt werden können, bestehen noch

- begrenzte - Möglichkeiten durch Erniedrigung des Abspritzdruckes.

An dieser Stelle sei gleichzeitig auf die eng mit dem Abspritzdruck gekoppelte Spritzgeschwindigkeit (Nockensteilheit) hingewiesen. Nicht der Abspritzdruck, sondern die Abspritzgeschwindigkeit beeinflusst die Strahlaufbereitung. Durch schnelleres Spritzen (bei Wirbelkammermotoren schnelles Spritzen notwendig, bei Vorkammermotoren zu schnelles Spritzen ungünstig) erfolgt besseres Aufreißen des Strahles in der verdichteten Luft. Dadurch wiederum ergibt sich schnelleres Zünden und besseres Durchbrennen. HC und CO verhalten sich hierbei indifferent,  $\text{NO}_x$ , Geräusch und Verbrauch werden günstig beeinflusst.

### 3.3.3.3 Nachspritzer

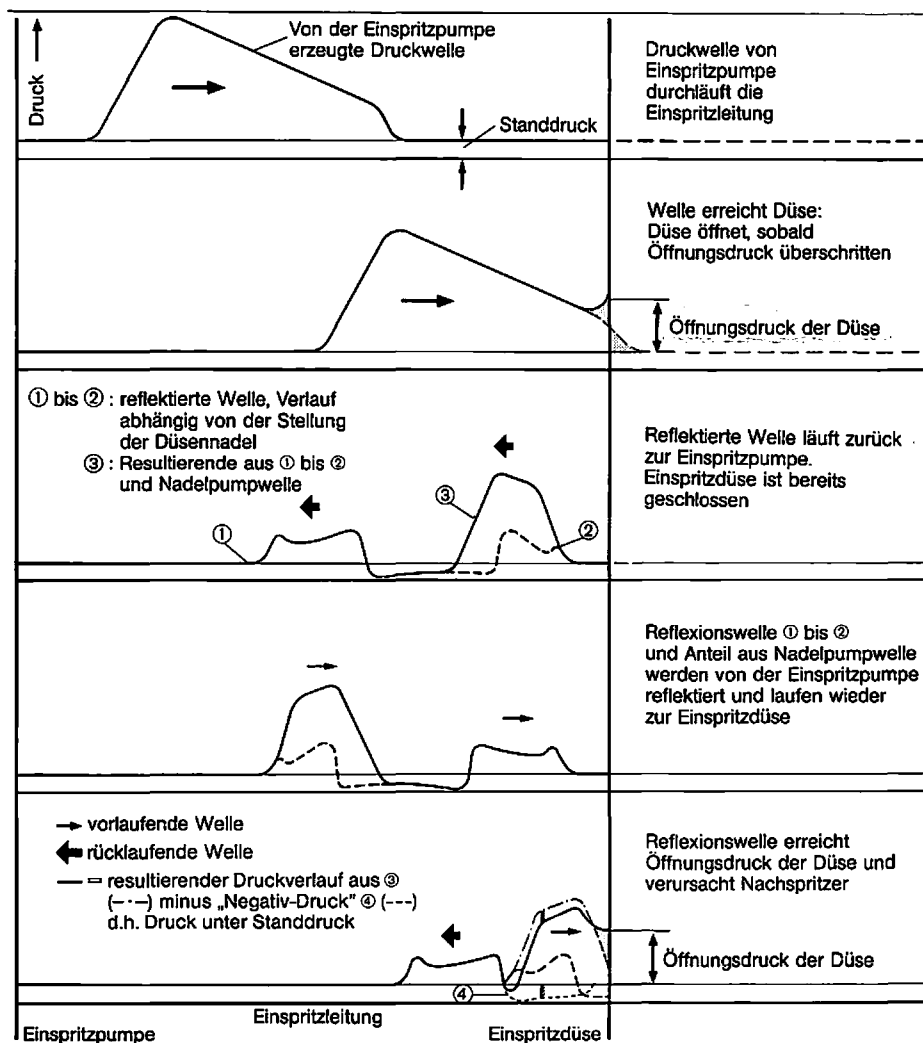


Bild III.3-9: Darstellung des Nachspritzens einer Einspritzdüse durch Reflexionswellen beim PKW-Diesel-Motor mit Drosselzapfen-Einspritzdüse.

Nachspritzer sind in jedem Fall Verursacher unnötiger HC-Emissionen besonders dann, wenn es sich mangels Druck/Geschwindigkeit und damit Zerstörungsmöglichkeit nur noch um ein Nachtropfen handelt. Diese HC-Anstiege waren mit Einsatz der HC-Grenzwerte ab Modelljahr 1975 nicht mehr tragbar, so daß Daimler-Benz das sogenannte "Reverse Flow Damping Valve (RFDV) (siehe dazu auch Kap. 4.2.2) in die Druckventile der Einspritzpumpe einbaute.

Bild III.3-9 veranschaulicht den zum Nachspritzen führenden Vorgang: Die von der Einspritzdüse bei deren Schließen zur Einspritzpumpe zurücklaufende Druckwelle wird normalerweise an

der Einspritzpumpe reflektiert und läuft abermals zur Düse vor, die undefiniert nachgeöffnet wird und nachspritzt oder nachtropft. Das in Kap. 4.2.2 näher besprochene RFDV dämpft die Druckwelle beim Zurücklaufen von der Düse zur Pumpe so stark, daß ein erneutes Rücklaufen zur Düse in den meisten Fällen nicht möglich ist.



### 3.3.3.4 Spritzverstellung

Würde der Spritzbeginn nicht zusätzlich mit steigender Motordrehzahl beeinflusst, ergäbe sich durch hydraulische Verluste im Einspritzsystem eine ständige Verschiebung des Förderbeginns. Bild III.3-10 zeigt diesen Zusammenhang. Der an der Einspritzpumpe

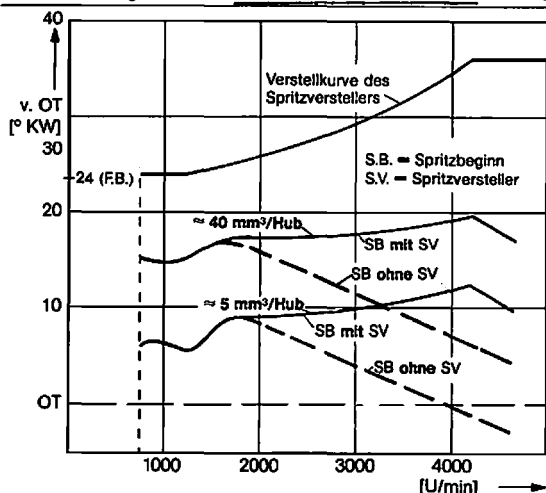


Bild III.3-10: Einfluß des Spritzverstellers auf den Verlauf des Einspritzbeginns am PKW-Diesel-Motor

angebrachte mechanische Spritzversteller, dessen Charakteristik ebenfalls in diesem Bild gezeigt ist, sorgt für einen Ausgleich dieser zwar emissionsgünstigen, aber verbrauchs- und leistungsschädlichen Förderbeginnverschiebung und garantiert einen nahezu gleichbleibenden Förderbeginn über der Drehzahl.

Durch Förderbeginnspätverstellung werden sowohl HC wie - bei Nebenkammermotoren - auch  $\text{NO}_x$  günstig beeinflusst, wobei der Beeinflussung des Förderbeginns als Emissionskontrollmaßnahme jedoch enge Grenzen gesetzt sind. Andererseits ist es

eine bedeutende Entwicklungsaufgabe, sämtliche Toleranzen im Einspritzsystem so in den Griff zu bekommen, daß der beabsichtigte Förderbeginn und die für den Nennwert zugelassene Toleranz auch in der Serienproduktion und im Feld eingehalten werden.

Umfangreiche Feld-Nachprüfungen an Diesel-Fahrzeugen verschiedener - (auch schon länger zurückliegender) - Modelljahre durch die kalifornische Umweltschutz-Behörde (ARB) haben gezeigt, daß Diesel-Motoreneine hohe Emissionskonstanz haben, und daß sie auch nach längeren Laufzeiten ihre "Ursprungswerte" wieder erreichen können, wobei notfalls nur der Förderbeginn wieder auf den Sollwert eingestellt werden muß {707}.

### 3.3.3.5 Düsengestaltung und Einspritzstrahlverteilung

Es ist wichtig, die in der Vorkammer vorhandene Luft bestmöglich mit der Kraftstoffverteilung zu erfassen, und örtlich überhöhte Kraftstoffanreicherung zu vermeiden, da nicht alle der sonst in diesen Zonen entstehenden Rußnester später nachverbrennen. Einen wesentlichen Beitrag zur Einspritzstrahlaufbereitung leistet der in der Vorkammer von Mercedes-Benz Pkw-Diesel-Motoren angeordnete Kugelstift. Dieser Stift dient außer zum Zerstäuben des auftreffenden Einspritzstrahles auch noch als "hot spot", d. h. als heiße Stelle in der Vorkammer.

Die Voraussetzung für einen bei jedem Arbeitsspiel volumenkonstanten Einspritzstrahl liefern die Einspritzdüsen. Bei Pkw-Motoren werden fast durchweg Drosselzapfendüsen verwendet, um den Übergang auf vollen Öffnungsquerschnitt "weich" und damit das Verbrennungsgeräusch gering zu halten. Bild III.3-11 zeigt die von Daimler-Benz eingesetzten Düsen. Bis Modelljahr 1976 wurden die DZ (Drosselzapfen)-Düse ("pintle-type") und ab Modelljahr 1977 die LZ (Lochzapfen)-Düse ("CHIP=Central Hole In Pintle-type") eingesetzt. Die Lochzapfendüse stellt eine verkokungsunempfindlichere Geometrie dar,

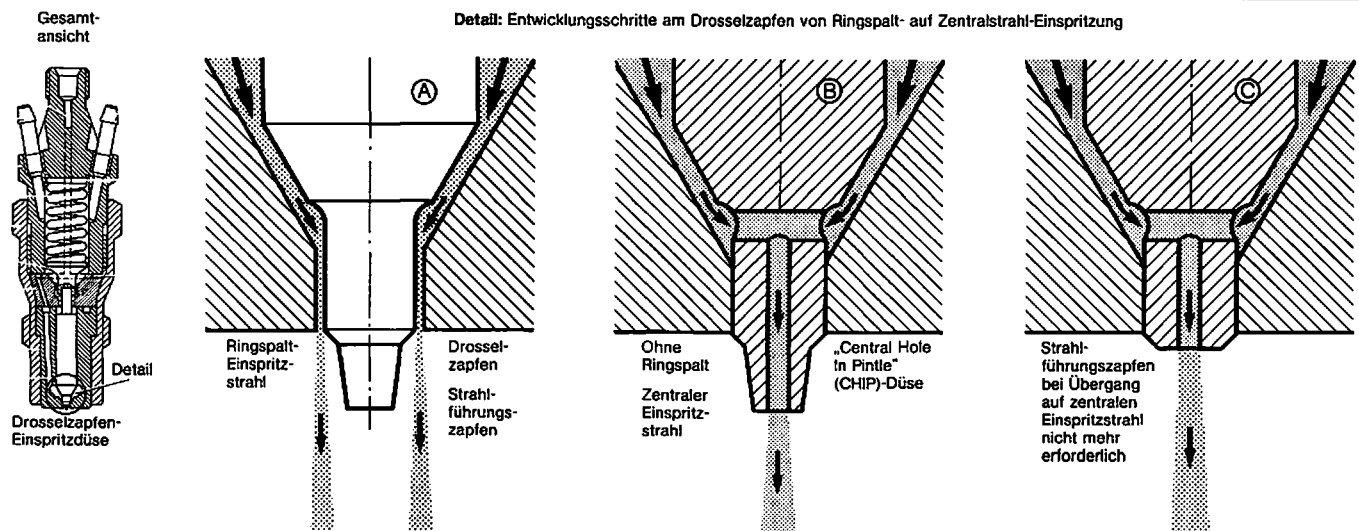
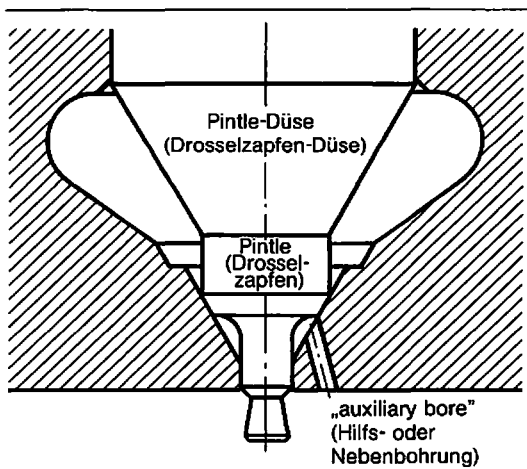


Bild III.3-11: Entwicklungsschritte für Einspritzdüsen von PKW-Diesel-Motoren mit Vorkammer bei Daimler-Benz ab US-Modelljahr 1978.



da das Verhältnis Spritzquerschnitt zu der vom Kraftstoff benetzten Oberfläche minimal ist. Im Gegensatz zu den in Bild III. 3-11 dargestellten, durchweg nach innen öffnenden Düsenadeln verwendet GM inzwischen bei seinen Pkw-Diesel-Motoren nach außen öffnende Düsen. Durch den bei diesem Düsentyp "stromaufwärts" verlegten Düsenadelsitz hofft man weniger Verkokungsprobleme zu haben.

Bild III.3-12: Die „PINTAUX“ (PINTle with AUXiliary bore)-Einspritzdüse von Ricardo, [709].

Das Problem, bei der Voreinspritzung relativ sehr kleine Kraftstoffmengen gut aufbereiten und daher sehr kleine Düsenquerschnitte verwenden zu müssen (die wiederum für größere Kraftstoffmengen unzureichend sind), versuchte Ricardo [709] durch die in Bild III.3-12 gezeigte sogenannte "PINTAUX" ("PINTle with AUXiliary bore")-Düse zu lösen. Während des Drosselhubes der Düse (Voreinspritzung) wird ein separater Kraftstoffstrahl durch die Hilfsbohrung auf die Glühkerze oder einen anderen Ort im Brennraum gerichtet. Die kleine Bohrung kann aber leicht verkoken.

### 3.3.4 Luft-Einlaß

Bei diesen Vor-Brennraum-Maßnahmen seien auch die mit der angesaugten Luft zugeführten Entlüftungsgase aus dem Kurbelgehäuse sowie die sich ebenfalls auf die angesaugte Luftmasse und Luftzusammensetzung auswirkende Abgasrückführung mit betrachtet.

#### 3.3.4.1 Luft-Verteilung

Wie beim Otto-Motor der Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder aus Sicht der Emissionskontrolle eine hohe Bedeutung zukommt, so ist die Luftverteilung für den

Diesel-Motor von Bedeutung. Dies wird verständlich, wenn man wieder das Grundprinzip dieselmotorischer Verbrennung – nämlich die exakte Zumessung einer bestimmten Kraftstoffmasse zu einer bestimmten Luftmasse, d. h. die Erzielung eines geplanten  $\lambda$  betrachtet.

Besonders unter den Gesichtspunkten Gleichlauf und vollständige Verbrennung (Emission) ist es wichtig, daß selbst die ständig mit Luftüberschuß arbeitenden Zylinder eines Diesel-Motors auch mit gleicher Luftmasse pro Zylinder versorgt werden. Ist dies nicht der Fall, liegen unterschiedliche Sauerstoffmassen vor, der eingespritzte Kraftstoff verbrennt jeweils mit verschiedenem  $\lambda$ , der Motor kann unrund laufen, die HC-, CO- und Partikelemissionen steigen an.  $\text{NO}_x$  kann sich ebenfalls verändern, wenn – dies gilt besonders nahe Vollastbereich, wo  $\lambda$  seinen Kleinstwert erreicht – weniger Luftmasse in verschiedenen Zylindern  $\text{NO}_x$  durch Zunahme der reduzierenden und Verringerung der oxidierenden Reaktionen unterschiedlich abnehmen läßt.

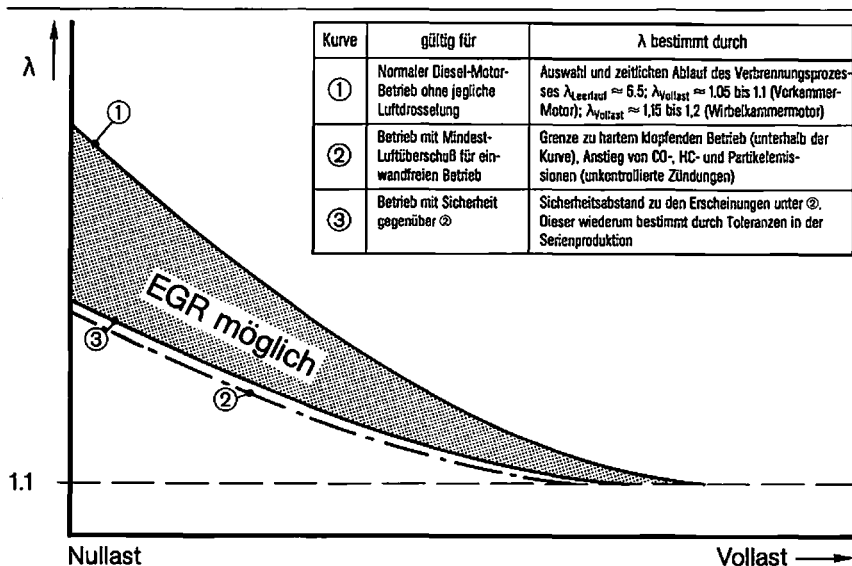
Bezüglich der Partikel-Emission muß ein Zylinder, der mit weniger Luftmasse versorgt wird als die übrigen Einheiten, in gleicher Zeit mit weniger Sauerstoff eine konstant gebliebene Kraftstoffmasse verbrennen. Er beginnt daher um so eher zu rauchen, je näher er sich an der Auslegungsgrenze befand.

#### 3.3.4.2 Drosselung

Luftdrosselung ist verfahrensbedingt beim Diesel-Motor nur im Leerlauf und bei unterer Teillast möglich. Ihr Einsatz am Diesel-Motor ist jedoch begrenzt und wird bezüglich der Rauchemission und vor allem wegen der Selbstzündfähigkeit (Verdichtungsverhältnis, Zündverzug) sehr leicht kritisch. Grundsätzlich widerspricht Drosselung dem dieselmotorischen Prinzip. Luftdrosselung verringert die dem Verbrennungsprozeß zugeführte Luftmasse. Da die eingespritzte Kraftstoffmasse unverändert bleibt, d. h. weniger Luft mit gleicher Kraftstoffmasse verbrennt, wird die Verbrennungstemperatur steigen. Hierdurch wäre ein  $\text{NO}_x$ -Anstieg zu erwarten. Da die NO-Bildung aber nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Druck abhängt, und das Druckniveau im Brennraum bei Drosselung sinkt, ergibt sich eine Verringerung der NO-Entstehung. Diese Tendenz wird dadurch unterstützt, daß bei Drosselung das Abgasvolumen sinkt und die  $\text{NO}_x$ -Emission (aufgrund des Zusammenhangs: Emission  $\sim$  Abgasvolumen  $\times$  Konzentration) abnehmen kann. Zur Veranschaulichung der Grenzen dieser Methode sei erwähnt, daß  $\text{NO}_x$ -Absenkungen von z. B. 2.0 g/m auf 1.5 g/m durch Drosselung nicht möglich sind. Da heute um Absenkungen auf  $< 1.0 \text{ g NO}_x/\text{m}$  gerungen wird, ist Luftdrosselung als  $\text{NO}_x$ -Kontrollmaßnahme kein Thema mehr.

#### 3.3.4.3 Abgasrückführung

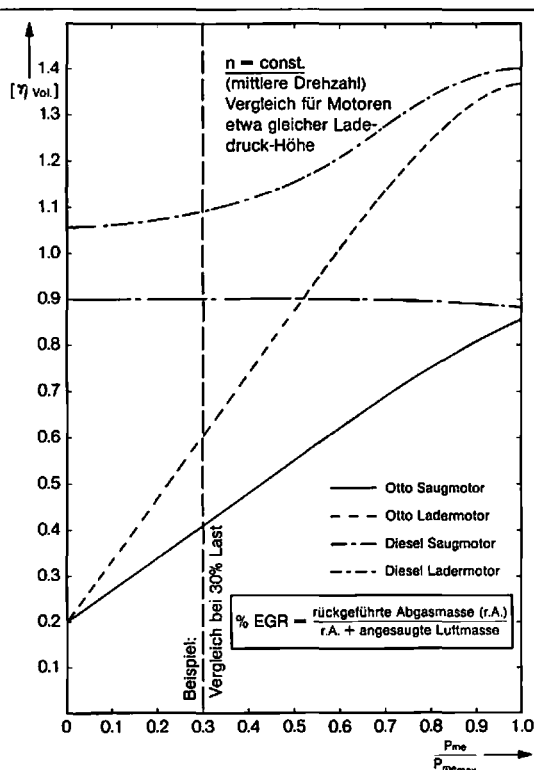
Im gleichen Bereich, in dem Luftdrosselung akut wäre, wird auch Abgasrückführung eingesetzt. Durch diese Maßnahme werden die Konzentrationen von Stickstoff und Sauerstoff so verändert, daß die Stickstoffkonzentration relativ gegenüber der Sauerstoffkonzentration steigt. Gleichzeitig bleibt – im Gegensatz zur vorher behandelten Drosselung –



**Bild III.3-13:** Luftüberschuß-Kurven (für konstante Motordrehzahl) eines PKW-Dieselmotors mit dem für Abgasrückführung ausnutzbaren Bereich, [710].

das Druckniveau erhalten, da die rückgeführte Abgasmasse die nicht mehr angesaugte Luftmasse ersetzt. Da Abgas darüber hinaus weitgehend wie ein Inertgas wirkt, ist diese Maßnahme wesentlich wirkungsvoller als Drosselung. Wie Bild III.3-13 veranschaulicht, gibt es für den Diesel-Motor grundsätzlich Grenzen für den Einsatz dieser  $\text{NO}_x$ -Absenkungsmaßnahme: Durch EGR darf nur der Luftüberschußbereich "aufgebraucht" werden, d. h. maximale Rückführungs-

raten sind im Leerlauf und unterer Teillast erlaubt, gegen Vollast muß die EGR auf Null zurückgenommen werden, da die Vollast ohne zusätzlichen Sicherheitsabstand zur Rauchgrenze ausgelegt ist. Jegliches Überschreiten der vom  $\lambda$  her gesehen in bestimmten Lastbereichen zulässigen Abgasrückführung führt zum HC- und Rauchanstieg.



**Bild III.3-14:** Verdeutlichung der speziell beim aufgeladenen Diesel-Motor gegenüber den Verhältnissen am Otto-Motor wesentlich höheren rückgeführten Abgasmasenströme bei gleicher prozentualer Angabe für die Rückführungsrate.

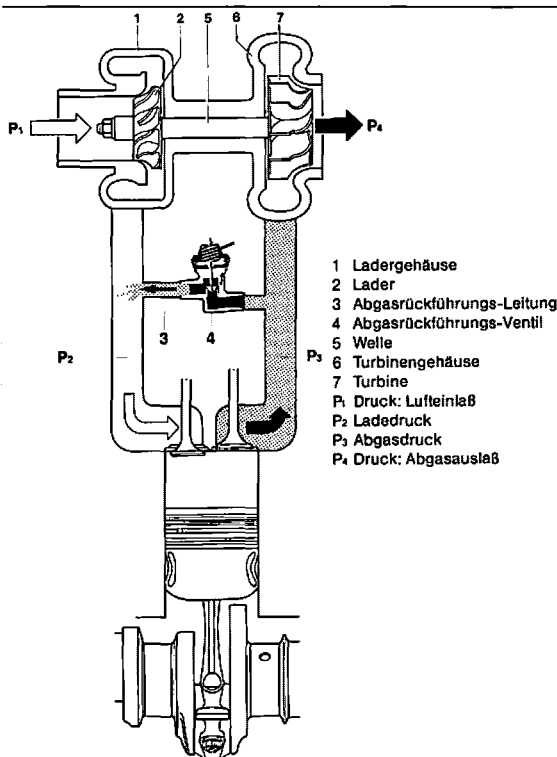
Um den markanten Unterschied zur Abgasrückführung beim Otto-Motor weiter zu verdeutlichen, wurden in Bild III.3-14 die spezifischen Abgasrückführungsmassen sichtbar gemacht. Während die Zylinderfüllung beim Otto-Motor aufgrund seines Drosselungsprinzips bis zur Vollast steigt, bewirkte die Gemischänderung des Diesel-Motors einen nahezu konstanten Füllungsgrad über dem gesamten Lastbereich. Wird nun von Rückführungsrate in [%] gesprochen - wie es üblich ist - sind substantiell verschiedene Absolutwerte gemeint.

Bedenkt man, daß heutige Diesel-Motoren Abgasrückführungswerte bis zu 60 % anwenden müssen, wenn sie  $< 1.0 \text{ gNO}_x/\text{m}$  erreichen wollen, wird der Unterschied zum Otto-Motor (für den höchstens 20 % üblich sind) noch deutlicher. Es gelingt zwar noch, Abgasrückführungen bis  $\approx 30 \%$  zum Erreichen eines  $\text{NO}_x$ -Niveaus von  $< 1.5 \text{ g/m}$  mittels einfacher Rückführungsventile darzustellen, bei den künftig für  $\text{NO}_x < 1.0 \text{ g/m}$  erforderlichen Werten von  $\approx 60 \%$  ist jedoch ein Drosselklappensystem zur Erzeugung eines unterstützenden Unterdruckes erforderlich.

Da Regelungs- und Toleranzprobleme besonders beim Einsatz der Abgasrückführung an aufgeladenen Diesel-Motoren noch nicht überwunden sind, konnte Daimler-Benz den US-Behörden in den Hearings vom Juni 1979 lediglich anbieten, ein solches System mit Drucksteuerklappe zunächst nur auf dem "Testmarkt" Kalifornien im Modelljahr 1982 (und hier auch nur am Saugrohr) einzusetzen. Wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten bei der technischen Weiterentwicklung des Systems konnte dieses Angebot jedoch nicht realisiert werden: Daimler-Benz mußte bei der US-EPA erneut in einem "waiver"-Antrag (Frühjahr 1981) den für Modelljahr 1983 geplanten bundesweiten Einsatz dieser Technologie ablehnen und um Aufschub des relevanten  $\text{NO}_x$ -Standards bitten.

#### 3.3.4.4 Abgasrückführung an aufgeladenen Diesel-Motoren

Spezielle Probleme ergeben sich beim Einsatz der Abgasrückführungstechnologie am aufgeladenen Diesel-Motor. War schon das Übergangsverhalten beim Saugmotor kritisch, weil die wegen der plötzlich zu Beschleunigungszwecken aus der Teillast heraus eingespritzte Kraftstoffmasse noch ein mit rückgeführtem Abgas gefülltes Saugsystem vorfand (wodurch das Grenz- $\lambda$  überschritten und Rauchemissionen verursacht wurden), so sind die Probleme beim aufgeladenen Diesel-Motor noch weitreichender. Hier sind zu-



nächst Verschmutzungsprobleme des Laders zu überwinden, desweiteren wirkt das mit recht hoher Temperatur (300 bis 400 °C) rückgeführte Abgas der mit dem Lader beabsichtigten Luftmassenerhöhung pro Verbrennungstakt prinzipiell entgegen. Gravierender aber noch ist das durch Abgasrückführung bei Beschleunigungsvorgängen entstehende Problem.

Bild III.3-15 veranschaulicht das Abgasrückführungs-Prinzip am Ladermotor. Bei einer Beschleunigung aus dem Leerlauf heraus (Abgasrückführung maximal!) erhöht sich sofort die Abgasmasse hinter dem Auslaßventil. Die Turbine reagiert jedoch wegen ihrer Masse nur verzögert auf diesen plötzlich auftretenden erhöhten Abgasmassenstrom, was zu einer Gegendruckerhöhung ( $p_3$ ) führt. Diese

Bild III.3-15: Funktionsdarstellung einer Abgasrückführung am aufgeladenen PKW-Diesel-Motor, [711].

Druckerhöhung zwingt eine (ungewollte) zusätzliche Abgasmasse zurück durch das nicht in der theoretisch idealen Zeit ( $t \approx 0s$ ) schließende Abgasrückführungsventil (Ventil-Kolben-Massenträgheit). Da nun der Kompressor andererseits mit der Turbinenwelle fest verbunden ist, beschleunigt er ebenfalls nur verzögert, und der Ladedruckaufbau erfolgt nicht so schnell wie benötigt. Dadurch verursacht der Zylinder einen Saugeffekt, der die durch das nicht schnell genug schließende Abgasrückführungs-Ventil (in Unterstützung zu der zuvor beschriebenen Druckerhöhungstendenz von der Turbinenseite her) unbeabsichtigt rückgeführte Abgas-

masse erhöht.

Diese Zusammenhänge führen zu einer Steigerung der Partikelemission, die sich um so stärker auswirkt, je öfter Beschleunigungen aus dem Leerlauf heraus erfolgen, wie es z. B. im CVS-Abgastest der Fall ist. Gleichzeitig ist die Fahrbarkeit stark verschlechtert, da mit der Betätigung des Fahrpedals nur eine stark verzögerte Drehmomentfreisetzung erfolgt. Der Vorteil des Lademotors kann also durch Abgasrückführung zunichte gemacht werden.

### 3.4 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoff-Emissionen aus dem Auspuff: Eingriffe im Brennraum

Wie schon in den vorigen Kapiteln bei den Vor-Brennraum-Maßnahmen nur einige der für das Emissionsverhalten des Pkw-Diesel-Motors wesentlichen Einflußgrößen angesprochen werden konnten, so ist es auch bei der Betrachtung der Eingriffsmöglichkeiten am Brennraum selbst nicht möglich (und auch nicht das Ziel dieser Ausführungen) Patentrezepte zur Konstruktion eines in jeder Hinsicht optimalen Diesel-Motors zu geben. Die hier der Einfachheit und Übersichtlichkeit halber in separaten Kapiteln behandelten Parameter sind bei der Motorentwicklung stets gemeinsam zu behandeln, und in mühevoller Detailarbeit so aufeinander abzustimmen, daß z. B. trotz der oft gegenläufigen Forderungen nach Wirtschaftlichkeit und Emissionskontrolle ein verkaufsfähiges Produkt entsteht. Hierbei kann es durchaus der Fall sein, daß eine der hier als vorteilhaft für das Emissionsverhalten beschriebenen Maßnahmen in Verbindung mit einem anderen Entwicklungskriterium Nachteile ergibt (wie z. B. bei dem zuvor angesprochenen Problemkreis Abgasrückführung der  $\text{NO}_x$ -Kontrolle am Lader-Motor gezeigt wurde).

#### 3.4.1 Hub/Bohrung

Einige theoretische Überlegungen sollen diese Konstruktionsparameter kurz beleuchten, wobei Hub und Bohrung nicht als direkte Emissions-Kontrollmaßnahmen eingesetzt werden.

Bei konstant gehaltenem Hubvolumen erreichen Langhuber bei niedrigeren Drehzahlen einen höheren Mitteldruck als Kurzhuber, bei höheren Drehzahlen kehrt sich dieses Verhältnis um. Wird nicht bei konstantem Hubvolumen verglichen, bewirkt längerer Hub eine Vergrößerung des Hubvolumens, wodurch ein höheres Drehmoment abgegeben werden kann. Ein höheres Drehmoment wiederum erlaubt es, den Fahrbetrieb durch Einsatz einer längeren Hinterachse zu niedrigeren Drehzahlbereichen des CVS-Tests zu legen, wodurch Verbrauchs- und Emissionsvorteile zu erwarten sind (bei gleicher Hinterachse wäre besseres Fahrverhalten die Folge).

Andererseits hat ein Langhuber höhere Kolbengeschwindigkeiten, wodurch der Gesamtdrehzahlbereich des Motors eingeschränkt wird. Der verringerte Drehzahlbereich erlaubt jedoch seinerseits wieder eine günstigere Auslegung des Saugrohres, wodurch (eventuell mit Schwingsaugrohren) die Luftfüllung des Zylinders gegenüber einem Kurzhuber verbessert werden könnte. Dies aber bedeutet bei gleicher Einspritzmasse weniger

Rauch oder bei der für konstantes Rauchverhalten größeren möglichen Einspritzmasse eine höhere Leistung. Geräuschlich dürfte sich der beim Langhuber zu niedrigeren Drehzahlen verschobene Betriebsbereich ebenfalls vorteilhaft auswirken.

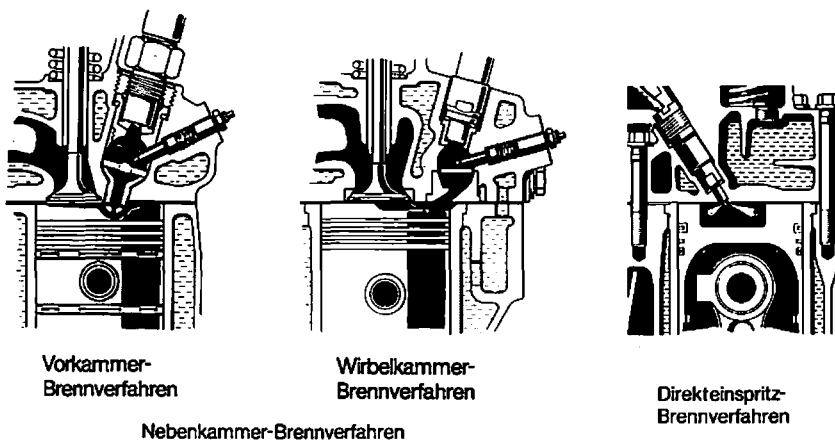
Die Emissionsvorteile bei niedrigeren Drehzahlen liegen jedoch mehr auf der Konzentrationsseite. Da der Füllungsgrad leicht verbessert wird, erhöht sich das Abgasvolumen, wodurch sich der Emissionsgewinn in der CVS-Methode nicht so deutlich auswirken kann (Massenemissionen  $\sim$  Konzentration  $\times$  Abgasvolumen).

### 3.4.2 Verdichtungsverhältnis

Das Verdichtungsverhältnis wird nicht durch Emissionskontrollbemühungen bestimmt, es hat aber einen gewissen Einfluß auf die  $\text{NO}_x$ -Emissionen. Hier bringt steigendes  $\epsilon$  - wenn die dabei vorhandene Änderung der Energieumsetzung ausgeklammert wird - eine tendenzmäßige Erhöhung, wobei gleichzeitig Druck und Temperatur des Verbrennungsprozesses ansteigen. Dadurch wird der Motor höheren mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt und muß schwerer gebaut werden. Hier sind Kurzhuber im Vorteil, da bei Langhubern und den dort vorliegenden erhöhten Kolbengeschwindigkeiten (wegen der Dehnungseffekte der Motoreinheit) noch schwerer gebaut werden muß und das geplante  $\epsilon$  im Betrieb schwerer einzuhalten ist.

Einer  $\epsilon$ -Senkung zur  $\text{NO}_x$ -Verbesserung steht die Forderung nach einwandfreiem Kaltstartverhalten entgegen, das mit sinkendem  $\epsilon$  immer schlechter wird.

### 3.4.3 Brennraumgestaltung und Turbulenz (Hauptbrennraum)



Bei Mercedes-Benz Diesel-Motoren für Pkw werden ausschließlich Nebenkammer-Motoren und hier speziell das Prinzip der Vorkammer verwendet. Bild III.3-16 vergleicht dieses Verfahren mit den sonst noch vorhandenen Möglichkeiten. Der Grund für die Wahl der Vorkammer war besonders die damit erzielbare "weiche" Verbrennung, d. h. die

**Bild III.3-16:** Vergleich verschiedener Brennverfahren für den Diesel-Motor, [712]. Darstellung eines für den Einsatz in Pkw-Motoren annehmbaren Geräuschverhaltens. Wie sich inzwischen weiterhin herausgestellt hat, scheinen Vorkammermotoren bezüglich der sogenannten "unregulated pollutants" (hier speziell bezüglich der PBO's, der dem Ruß angelagerten organischen Bestandteile) günstigeres Emissionsverhalten als die ebenfalls zum Nebenkammerprinzip zählenden Wirbelkammermotoren oder die bezüglich des Kraftstoffverbrauchs vorteilhaften Direkteinspritzverfahren (letzteres wurde bisher jedoch beim Pkw aus Emissions- und Geräuschgründen noch nicht eingesetzt) aufzuweisen [713].

Verwirbelungen im Hauptbrennraum (die ohnehin über den gesamten Drehzahlbereich eines Pkw-Diesel-Motors nur schwer wie geplant realisierbar sind) lassen bei allen drei Verfahren die "unregulated pollutant"-Emissionen ansteigen, wobei wieder die obengenannte Reihenfolge der Verbrennungsverfahren gilt: Am geringsten wäre das Vorkammerverfahren beeinflusst, etwas stärker würde der Wirbelkammermotor reagieren, und die deutlichsten Auswirkungen ergäben sich beim Direkteinspritzverfahren [713].

#### 3.4.4 Brennraumgestaltung und Turbulenz (Nebenbrennraum)

Als guter Kompromiß für den Pkw-Einsatz wird bei Nebenkammer-Motoren ein Vorkammer-Volumen von 35 bis 40 % des Hauptbrennraumvolumens angesehen (bei Wirbelkammermotoren  $\approx 50$  %). Veränderungen des Nebenkammervolumens haben einen Einfluß auf das Verdichtungsverhältnis, da das Hauptbrennraum-Volumen konstant gehalten werden müßte. Wird die Vorkammer zu klein, reicht der Luftüberschuß nicht mehr für eine rauchfreie Verbrennung, d. h. HC-, CO- und Partikel-Emissionen steigen an. Da  $dp/d\alpha$  kleiner wird und da  $NO_x = f(dp/d\alpha)$  und Geräusch =  $f(dp/d\alpha)$ , sinkt auch die  $NO_x$ -Emission und das Geräuschniveau wird besser. Bei steigendem Kammervolumen sind die Tendenzen umgekehrt.

Besondere Beachtung ist der Auslegung des Schußkanals (Verbindung zwischen Neben- und Hauptbrennraum) zu widmen: Wird der Durchmesser zu groß gewählt, sinkt die kinetische Energie des in den Hauptbrennraum eintretenden Strahls, seine Verteilung im Hauptbrennraum wird schlechter.

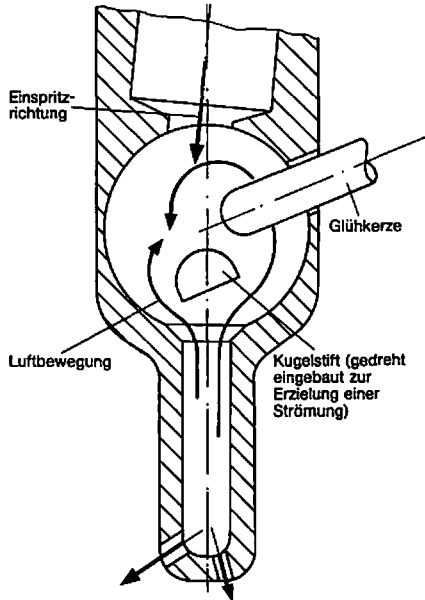


Bild III.3-17: Prinzipdarstellung einer Vorkammer mit gezielter Luftbewegung, [714].

Die Lage der Nebenkammer zum Hauptbrennraum ist ein weiteres wichtiges Konstruktionsmerkmal. Je größer die Zylindereinheit, desto mehr kann die Vorkammer mittig angeordnet werden. Wird ihre Exzentrizität bei zu kleinen Zylindereinheiten zu groß, zeigt der Vorkammermotor Nachteile gegenüber einer Wirbelkammer. Bei kleinen Zylindereinheiten ist zentrale Anordnung nicht möglich (Platzgründe), so daß man sich mit einem Vorkammermotor hierbei durch Vergrößerung der relativen Exzentrizität dem Wirbelkammermotor, bei dem die Nebenkammer immer "außen" liegt, annähert.

Gezielte Verwirbelungen in der Vorkammer sind konstruktionsbedingt nicht möglich. Jede Kantenbildung am Schlußkanal würde darüber hinaus Rauchemissionen erzeugen. Ein hinsichtlich verbesserter Partikel-Emissionen erfolgversprechender Ansatzpunkt liegt jedoch bei dem in den Vorkammern von Mercedes-Benz Pkw-Motoren verwendeten Kugelstift: Eine Drehung des Stiftes verursacht die in Bild III.3-17 dargestellte Intensivierung der Strömungsverhältnisse. Wird auf den Zusammentreffpunkt der Luftströmung gespritzt, wirkt sich dies günstig auf die Partikel-Emissionen aus.



### 3.4.5 Temperaturverhältnisse im Hauptbrennraum

Eine Erhöhung der Temperaturverhältnisse im Hauptbrennraum ist bezüglich der Emissionskontrolle von Vorteil, wobei wieder der Teillastbereich als das für Emissionskontrollzwecke interessante Gebiet betrachtet wird. Ein Ansteigen der  $\text{NO}_x$ -Emissionen ist durch eine derartige Temperaturerhöhung, die z. B. durch verschleppte Verbrennung erreicht werden kann, nicht zu befürchten, da die NO-Bildung bestimmte Temperatur- und Druckverhältnisse erfordert, die nur in der Nebenkammer gegeben sind.

Dagegen liegt der Vorteil des Temperaturanstieges im Hauptbrennraum im früheren Erreichen der Initialzündungstemperatur für eine mögliche Rußnachverbrennung. Auch eine "scharfe" Einspritzung zu einem späten Zeitpunkt (steiler Temperaturgradient) führt zu einer markanten Temperaturerhöhung, die für den Einsatz der in Kap. 3.5 behandelten "trap oxidizer" von Vorteil ist. Als Größenordnung für den mit diesen Maßnahmen erreichbaren Temperaturanstieg sei eine Erhöhung von  $\approx 250^\circ\text{C}$  auf  $\approx 320^\circ\text{C}$  genannt, die zwar nicht sehr groß ist, aber eventuell für die obengenannte Initialzündung ausreichen könnte.

### 3.5 Maßnahmen und Systeme zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff: Eingriffe nach dem Brennraum

Im Gegensatz zum Otto-Motor, bei dem der entscheidende Durchbruch auf dem Gebiet der Emissionskontrolle durch Nach-Brennraum-Maßnahmen (Katalysatoren) erzielt wurde, sind die entsprechenden Möglichkeiten beim Diesel-Motor stark eingeschränkt. Oxidationskatalysatoren zur HC- und CO-Absenkung sind aufgrund der diesbezüglich bei der dieselmotorischen Verbrennung sehr geringen Schadstoffentstehung nicht erforderlich. Reduktionskatalysatoren zur  $\text{NO}_x$ -Absenkung können wegen des ständig mit Luftüberschuß arbeitenden Verbrennungsprinzips nicht eingesetzt werden.

#### 3.5.1 Maßnahmen zur Verringerung der Feststoff-Emissionen

Als die einzigen in intensiver Entwicklung befindlichen Emissionskontroll-Maßnahmen nach dem Brennraum eines Pkw-Diesel-Motors sind aus den zuvor genannten Gründen Verfahren zur nachmotorischen Rußbeseitigung ("after-engine soot reduction") zu erwähnen.

##### 3.5.1.1 Oxidation von freischwebendem Ruß

Während des dieselmotorischen Verbrennungsprozesses entsteht laufend Ruß, der mehr oder weniger noch im Brennraum wiederverbrannt wird. So hat man zunächst die Möglichkeit untersucht, auch nach dem Brennraum den frei schwebenden Ruß im Abgasstrom zu oxidieren. Das Hauptproblem dieser Technik liegt in der sehr kurzen Verweilzeit der Rußpartikeln unter ausreichend hohem Temperaturniveau. Selbst wenn man eine technisch durchaus realisierbare höhere Verweilzeit bereitstellt, bleibt es sehr schwierig, den gesamten Abgasstrom auf die zu Rußoxidation erforderlichen 500 bis  $600^\circ\text{C}$  aufzuheizen [715].

### 3.5.1.2 Ruß-Sammlung ohne Selbst-Regenerierung

Als nächster Entwicklungsschritt kann die Erprobung von Ruß-Sammelfiltern angesehen werden. Thermisch und chemisch ausreichend resistente Filter können hierbei über einen begrenzten Zeitraum 15 bis 80 % der im Abgasstrom herangetragenen Rußmasse abscheiden.

Die Ruß-Sammlung bewirkt jedoch ein rasches Ansteigen des Auspuffgegendruckes, der ab einer bestimmten Höhe zu Leistungsverlust des Motors und einer Erhöhung des Kraftstoffverbrauches führt.

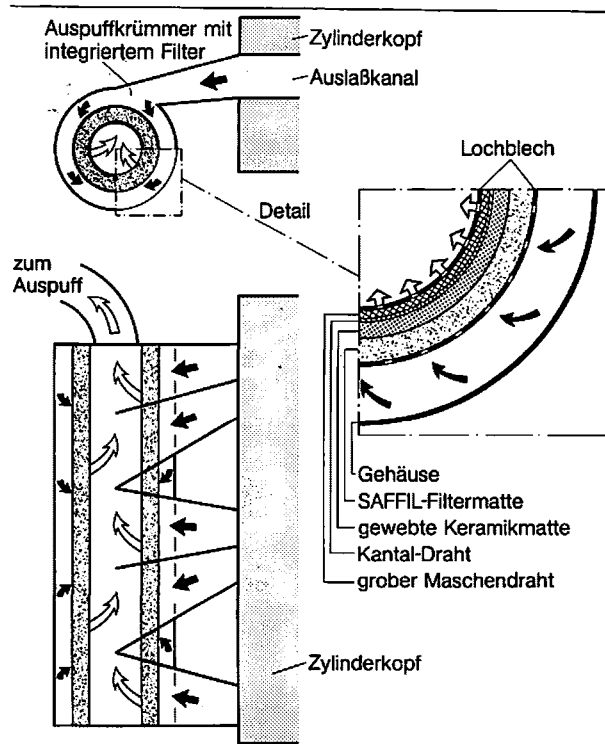
Eine derartige Technologie wäre nur dann einsetzbar, wenn der Filterwechsel oft genug erfolgen würde, wobei das Wechselintervall je nach individueller Fahrzeugbetriebsweise unterschiedlich lang wäre. Darüber hinaus müßten billige Austauschfilter verfügbar sein, für die entweder eine entsprechende Entsorgung bereitgestellt werden müßte (Einweg-Filter) oder die - bei Mehrwegfiltern - in stationären Öfen zu regenerieren wären [716].

### 3.5.1.3 Ruß-Sammlung mit Selbst-Regenerierung auf der Basis von Filtermatten

Folgerichtig ergibt sich nach dem zuvor Gesagten der Versuch, den auf einem Filter gesammelten Ruß während des Fahrbetriebes zu oxidieren. Hierbei wird zwischen Systemen mit und ohne externer Energiezufuhr unterschieden.

Systeme *mit externer Energiezufuhr*, bei denen der auf dem Filter angesammelte Ruß durch elektrische oder Flammenbeheizung oxidiert wird, dürften erhebliche Probleme beim Einsatz im Pkw mit sich bringen (z. B. Verbrauchsverschlechterung, Anstieg gasförmiger Emissionen bei Flammenheizung) und stehen daher bei Daimler-Benz deutlich hinter Verfahren zurück, die mit der im Abgasstrom vorhandenen Energie arbeiten. Diese selbstregenerierenden Filter *ohne externe Energiezufuhr* arbeiten jedoch ohne unterstützende Maßnahmen zur Temperaturerhöhung des Abgasstromes nur in wenigen Bereichen des Fahrzeugbetriebes. So liegt die mittlere Abgastemperatur direkt hinter dem Auspuffkrümmer an einem Mercedes-Benz 300 D während eines LA 4-Zyklus nur zwischen 270 und 300 °C mit einem kurzzeitigen Maximum von 590 °C. Zur Regenerierung des am Filter gesammelten Rußes ist jedoch dauernd eine Mindesttemperatur von  $\approx 550$  °C erforderlich [717].

Zur Temperaturerhöhung des Abgases kommen Maßnahmen wie späterer Einspritzbeginn, späteres Öffnen des Auslaßventiles, höhere Einspritzgeschwindigkeit, Abgasrückführung, Ansaugluftvorwärmung, Heißkühlung, Portliner (im Auslaßkanal des Zylinderkopfes) und Luftdrosselung infrage. Aber selbst wenn diese Maßnahmen den gewünschten Erfolg brächten, bestünde immer noch ein erhebliches Problem in der Dauerhaltbarkeit des zur Verfügung stehenden Filtermaterials (ganz abgesehen von den stark verbrauchsverschlechternden Tendenzen einiger dieser Maßnahmen) [717].

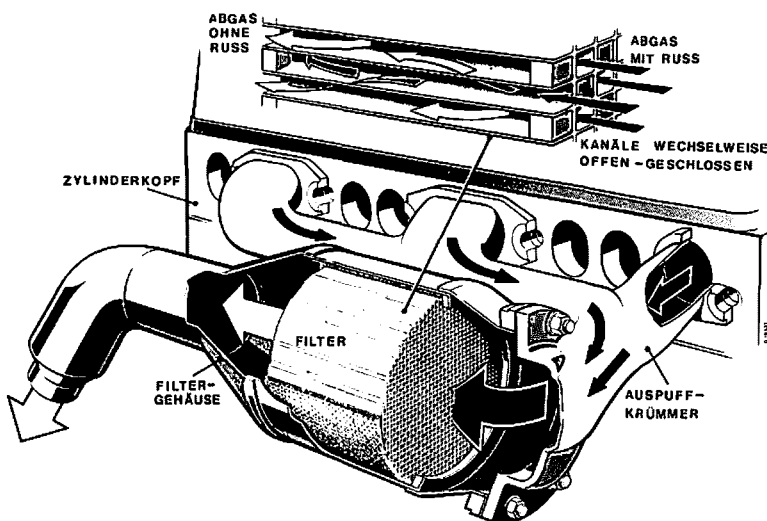


**Bild III.3-18:** Rußfilter mit verstärkter Filtermatte am PKW-Dieselmotor (Versuch einer regenerierenden Ausführung), [718].

In Bild III.3-18 ist ein Filter mit einer verstärkten Filtermatte (Saffil) im Prinzip dargestellt. Es gilt, eine möglichst große Oberfläche zur Rußsammlung bereitzustellen, wobei sich die Filtermatten jedoch nicht beliebig verformen lassen. Die Gegendruckerhöhung soll weiterhin sehr gering sein, was ein lockeres Material bedingt. Da dieses aber der Belastung durch heißes, pulsierendes Abgas gewachsen sein muß, sind Verstärkungen (Gitter etc.) erforderlich, die wiederum Gegendruckerhöhung bewirken [719]. Wegen Nachteilen wie: begrenzte Oberfläche, schwierige Herstellung, mangelhafte mechanische Standfestigkeit und häufige thermische Zerstörung wird dieses Verfahren von Daimler-Benz nicht als Lösung angesehen.

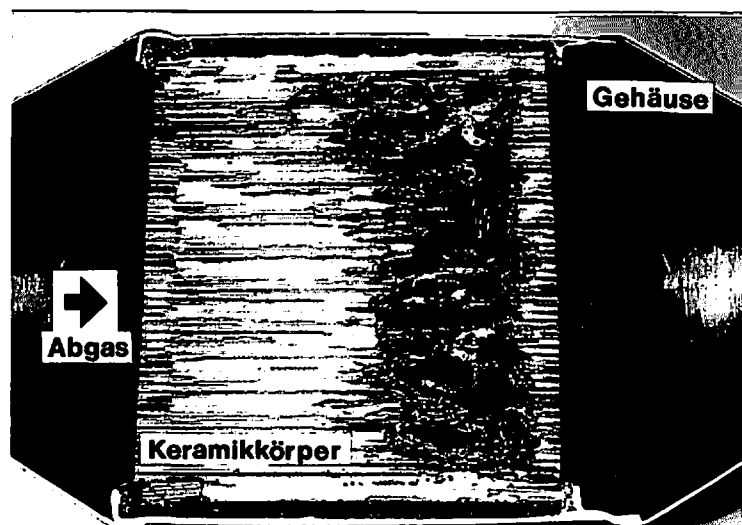
#### 3.5.1.4 Ruß-Sammlung mit Selbst-Regenerierung auf der Basis von keramischen Monolithen

Das derzeit erfolgversprechendste System einer selbstregenerierenden Rußfilterung ohne externe Energiezufuhr besteht aus einem motornahen monolithischen Keramik-Filter, wie er in Bild III.3-19 abgebildet ist. Er gleicht in Form und Anordnung den monolithischen Oxidationskatalysatoren, wie sie ab Modelljahr 1975 an Mercedes-Benz-Pkw mit Otto-Motoren für die USA eingesetzt wurden. Das Material ist jedoch poröser gehalten, um den von Kanal zu Kanal stattfindenden Gasdurchtritt ohne nennenswerte Gegendruckerhöhung zu ermöglichen. Diese Filter haben Wirkungsgrade  $> 80 \%$  und können



**Bild III.3-19:** Keramischer Monolith Ruß-Abbrennfilter in motornaher Anordnung an einem Mercedes-Benz 3.0 I/5-Zyl. PKW-Dieselmotor, [720].

- wenn sie wie geplant arbeiten - die Partikelemission über längere Betriebszeit deutlich unter den schärfsten (von den USA ab Modelljahr 1985 vorgesehenen) Grenzwert von  $0.2 \text{ g PM/m}$  reduzieren. Im heutigen Entwicklungsstadium sind jedoch zur einwandfreien Funktion noch unterstützende Maßnahmen, wie z.B. spätere Einspritzung (Verbrauchserhöhung!) und spezielle Fahrweise zum Erreichen der Abbrenntemperaturen erforderlich. Unter normalen Stadtverkehrs-



**Bild III.3-20:** Auswirkung unkontrollierter Ruß-Oxidation (Zerschmelzen des keramisch-monolithischen Rußfilters), wie sie nach einer Ruß-Sammelphase ohne Regenerierung des angesammelten Rußes (z. B. bei den niedrigen Temperaturbedingungen von Stadtbetrieb) auftritt, [721].

bedingungen erfolgt nur vereinzelte, d.h. keine ausreichende Rußoxidation. Schließt sich an eine längere Ruß-Sammelphase (Stadtkverkehr) eine plötzliche Ruß-Abbrennphase (Autobahnfahrt) an, wird der keramische Monolith durch die bei der momentanen Oxidation einer großen Rußmasse freiwerdende Wärme sofort zerstört. Die Folgen dieses Vorganges sind in Bild III.3-20 gezeigt. Bevor nicht ein kontinuierliches Oxidieren des sich auf dem Monolithen sammelnden Rußes ohne Maßnahmen, die die dieselspezifischen Vorteile (Verbrauch, Dauerhaltbarkeit, Emissionskonstanz) abschwächen oder aufheben, möglich ist, kann diese Ruß-Nachverbrennung nicht zum Einsatz in Serienproduktion vorgesehen werden. Bild III.3-21 faßt noch einmal die verschiedenen Möglichkeiten der nachmotorischen Rußverminderung mit ihren charakteristischen Merkmalen zusammen.

Nach-Motor Rußverringerung	
Verfahren	Charakteristische Eigenschaften
Oxidation im Abgasstrom	Oxidation von frei schwebendem Ruß – wenn initiiert – sehr schnell, da Partikeln kleiner als wenn auf Filter gesammelt. Verweilzeit unter genügend hohen Temperaturen sehr gering. Ausreichend schnelles Aufheizen des gesamten Abgasstromes auf Oxidationstemperatur (500 bis 600 °C) sehr schwierig. Externe Energiezufuhr verringert Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors. Keine praktische Anwendung in Aussicht.
Filterung ohne Oxidation	Sehr schneller Gegendruckanstieg bei Filterbeschichtung durch Ruß und damit Leistungsverlust des Motors, Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen (HC, CO, Ruß). Baugröße mit ausreichender Filteroberfläche durch Einbauverhältnisse im Fahrzeug begrenzt. Filterwechsel in unregelmäßigen Intervallen notwendig (je nach Fahrbetrieb). Entsorgungsprobleme. Keine praktische Anwendung in Aussicht.
Filterung mit Oxidation ● mit externer Energiezufuhr ● ohne externe Energiezufuhr	Elektrische oder Flammenbeheizung des Abgases oder Filters technisch schwierig. Flammenbeheizung erhöht HC- und CO-Emissionen des Motors. Externe Energiezufuhr verringert Wirtschaftlichkeit des Motors. Keine praktische Anwendung in Aussicht.  Benutzt Abgaswärme und Sauerstoffgehalt des Abgases. Falls Temperaturen >550 °C erzielt werden können, beginnt Ruß zu oxidieren, aber bei diesem Temperaturniveau oxidiert gerade soviel Ruß, wie neu auf dem Filter gesammelt wird. Ab ~650 °C auch Oxidation des bereits auf dem Filter gesammelten Rußes. Diese für totale Regeneration erforderlichen Temperaturen kommen im Stadtverkehr kaum vor. Bei zu langer Ansammlung von Ruß ohne Regeneration (Stadtverkehr) und dann plötzlich einsetzender Oxidation (Autobahnfahrt) erfolgt schnelle Zerstörung selbst hochtemperaturbeständiger Filtermaterialien (Keramik). Entwicklungsziel: Sicherstellung kontinuierlichen oder gesteuerten Oxidierens des gesammelten Rußes. Ausführungsformen: mit Filtermatten (Lösung scheitert wegen unzureichender Standfestigkeit und geringer möglicher Oberfläche aus) oder mit keramischem Filter (große Filteroberfläche, hohe Standfestigkeit, hoher Wirkungsgrad). Am erfolgversprechendsten sind keramische monolithische motornahe Filter. Erforderliche Abgastemperatur kann bisher jedoch nur durch nicht-serienmäßige Hilfsmaßnahmen (z. B. späte Einspritzung mit Verbrauchsnachteilen und Kaltstartverschlechterung, spezielles Fahrprogramm) erreicht werden. Serienmäßiger Einsatz dieser Rußabbrennfilter („trap oxidizer“) noch nicht abschätzbar.

**Bild III.3-21:** Möglichkeiten zur Verringerung von Ruß-Emissionen durch Maßnahmen nach dem Brennraum eines PKW-Dieselmotors, nach [722].

#### 4. Übersicht serienmäßig eingesetzter Emissionskontrollanlagen von Modelljahr 1968 bis 1982 am Beispiel von Mercedes-Benz Pkw

Zu Beginn der Emissionskontrollgesetzgebung Mitte der 60er Jahre entsprachen die meisten Hersteller den gestellten Forderungen zunächst durch Modifikationen am Motor und Abgasnachbehandlung an bestehenden Aggregaten. Durch Fortschreibung von Absenkungsstufen der zulässigen Abgasstandards mußten die anfangs relativ einfachen Änderungen an Motor und Fahrzeug jedoch bald durch immer umfangreichere Emissionskontrollsysteme ersetzt werden, und es ergab sich für den Automobilhersteller in zunehmendem Maße

Ziel der nachfolgenden Zusammenstellung ist es, anhand von charakteristischen Beispielen der im Hause Daimler-Benz während der US-Modelljahre 1968 bis 1982 an den in diesem Zeitraum verkauften Fahrzeugmodellen serienmäßig eingesetzten Abgasreinigungssysteme ein Bild des zur Erfüllung der gesetzlichen Emissions-Begrenzungsvorschriften ständig gestiegenen technischen Aufwandes zu vermitteln.

#### 4.1 Systeme an Mercedes-Benz Pkw mit Otto-Motoren

#### 4.1.1 Modelljahre 1968 und 1969

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwingungsmassenklasse (lbs)	Zyl.-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
200 1) 220/8 2)	Vergaser: 2 x 38/40 PDSI (SOLEX)	3500	L-4	Closed Crankcase Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem. Geänderte Unterdruck-Zündverstellung. Leerlaufgemisch-Kalibrierung.
230 1) 230 S 1) 250 S 1)	Vergaser: 2 x Zenith 35/40 INAT (SOLEX)	3500	L-6	Closed Crankcase Engine Modification Man-Air-Ox	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem. Düsenbestückung geändert, Leerlaufgemisch-Kalibrierung, spätere Zündung im Leerlauf- und Teillastbereich. Nachverbrennungsanlage (Manifold-Air-Oxidation System) mit Lufteinblasung in den Zylinderkopf vor die Auslassventile. (Balm 230/8 entfiel im laufenden Produktionsjahr die Luftpumpe. Statt dessen erfolgte Anbau einer Drosselklappenanhebung, die wie folgt gesteuert wurde: EIN: $n_{mot} > 2000$ U/min; AUS: $n_{mot} < 1800$ U/min.)
280 S/8 2) 230/8 2) 250/8 2) 250/8 Coupé 2)					
250 SL 1) 250 SE 1) 250 SE/Coupé 1) 250 SE/Cabrio 1)	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	3500 4000	L-6	Closed Crankcase Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem. Kraftstoffabschaltung im Schlebebetrieb, gesteuert in Abhängigkeit von Motor- und Fahrzeugparametern, wie: Drosselklappenstellung (DK), Getriebestufe (GS), Motordrehzahl ( $n_{mot}$ ), Fahrgeschwindigkeit ( $V_{Fzg}$ ), Kühlwassertemperatur ( $t_{kw}$ )). autom. Getriebe: DK in Nullstellung und GS in 3. oder 4. Gang und Kupplung nicht betätigt. aut. Getriebe: DK in Nullstellung und GS eingelegt und Getriebe arbeitet im 3. oder 4. Gang und ( $t_{kw} > 100$ U/min. (literer Typ) $n_{mot} > 1100$ U/min. aut. Getriebe II: DK in Nullstellung und $t_{kw} > 17$ °C und $V_{Fzg} > 30$ bis 35 km/h. (neuerer Typ)
280 SL/8 2) 280 SE/8 2) 280 SE/8/Coupé 2) 280 SE/8/Cabrio 2) 280 SEL/8 2) 300 SEL/8 2)	1) Typen laufen im Modelljahr 1968 aus, werden ab Januar 1968 ersetzt durch .../8-Typen 2) ab Januar 1968	3500 4000			
300 SEL/8-63 600	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	4500 5500	V-6	Closed Crankcase Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem. Einspritzkennfeld geändert gegenüber Europa-Serie.

DK = Drosselklappen

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201910020914-0>

Abgasreinigungsmaßnahmen-Übersicht									
Modelljahr	Verkaufsprogramm		Diesel-Motoren		Vergaser		Otto-Motoren		Einspritzer
	bis Jan. 68	ab Jan. 68							
1968/69	200 D 200 230 230 S 250 S 250 SL 250 SE 250 SE-Cp. 250 SE-Ca.	220 D/8 220/8 230/8 250/8 250 C/8 280 S/8 280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8 280 SE/8 Cp. 280 SE/8 Ca. 300 SEL/8	200 D 220 D/8	CC	200 220/8 230/8 230 230 S 250/8 250 C/8 250 S 280 S/8	CC/EM CC/EM/MAO	250 SL 250 SE 250 SE-Cp. 250 SE-Ca. 280 SL/8 280 SE/8 280 SE/8-Cp. 280 SE/8-Ca. 300 SEL/8 300 SEL/8-6.3 600	CC/EM	
1970	220 D/8 220/8 250/8 250 C/8 280 S/8 280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8 300 SEL/8 280 SE/8 Cp. 280 SE/8 Ca. 300 SEL/8-6.3 600		220 D/8	CC	220/8 250/8 250 C/8 280 S/8	CC/CS/EM	280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8 300 SEL/8 280 SE/8 Cp. 280 SE/8 Ca. 300 SEL/8-6.3 600	CC/CS/EM	
1971	220 D/8 220/8 250/8 250 C/8 280 S/8 280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8 280 SE/9-3.5 280 SEL/9-3.5 280 SE/9-3.5 Ca. 280 SE/9-3.5 Cp. 300 SEL/9-3.5 300 SEL/8-6.3 600		220 D/8	CC	220/8 250/8 250 C/8 280 S/8	CC/CS/EM	280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8 280 SE/9-3.5 280 SEL/9-3.5 280 SE/9-3.5 Ca. 280 SE/9-3.5 Cp. 300 SEL/9-3.5 300 SEL/8-6.3 600	CC/CS/EM	
1972	220 D 220 250 250 C 280 SE 350 SL*) 280 SE-4.5 280 SEL-4.5 300 SEL-4.5 300 SEL-6.3 600	*) mit 4.5 ltr Motor	220 D	CC	220 250 250 C	CC/CS/EM	280 SE 350 SL *) 280 SE-4.5 280 SEL-4.5 300 SEL-4.5 300 SEL-6.3 600	CC/CS/EM	
1973	220 D 220 280 280 C 450 SL 280 SE-4.5 280 SEL-4.5 300 SEL-4.5		220 D	CC	220 280 280 C	CC/CS/EM/EGR	450 SL 280 SE-4.5 280 SEL-4.5 300 SEL-4.5	CC/CS/EM	
1974	240 D 230 Bund Kalif. 280 280 C 450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL	280 280 C 450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL	240 D	CC	230 280 280 C } BUND 280 280 C } KALIF.	CC/CS/EM/EGR CC/CAN/EM/EGR/TR/AI	450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL } BUND 450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL } KALIF.	CC/CS/EM CC/CAN/EM/EGR/AI	
1975/76	240 D 300 D 230 Bund 230 Kalif. 280 280 C 280 S 450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL		240 D 300 D	CC/EM	230 BUND 230 KALIF. 280 280 C 280 S	CC/CAN/EM/EGR/TR/AI CC/CAN/EM/EGR/OC/AI	450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL	CC/CAN/EM/EGR/OC/AI	
1977/78	240 D 300 D 230 (Mj. 78 nur noch BUND) Bund Kalif. 280 E/CE 280 SE 450 SL 450 SLC 450 SEL 450 SEL-6.9 1978 zusätzlich: 300 CD 300 SD (mit Turbolader) 280 CE	280 E/CE 280 SE 450 SL 450 SLC 450 SEL 450 SEL-6.9	240 D 300 D 300 CD 300 SD	CC/EM CC/EM	230 230 300 SD	CC/CAN/EM/EGR/CAT <sup>1)</sup> /AI <sup>2)</sup> CC/CAN/EM/EGR/OC/AI	280 E/CE } BUND 280 SE } KALIF. 280 E/CE } 280 SE } 450 SL } BUND 450 SLC } 450 SEL } 450 SEL-6.9 } KALIF.	CC/CAN/EM/EGR/OC/AI CC/CAN/EM/EGR/OC/CAT <sup>3)</sup> /AI <sup>4)</sup> CC/CAN/EM/EGR/CAT/AI <sup>5)</sup> CC/CAN/EM/EGR/OC/AI <sup>5)</sup> CC/CAN/EM/EGR/OC/AI	

**Bild III.4-1:** Zusammenstellung der von Daimler-Benz während der ersten zehn Jahre der US-Emissionskontrollgesetzgebung serienmäßig eingesetzten Emissionskontrollsysteme, [723].

sionen bis auf eine Ausnahme mit den Begriffen "Geschlossenes-Kurbelgehäuse-System" ("Closed Crankcase") und "Motormaßnahmen" ("Engine Modification") charakterisieren. Die Kurbelgehäuseentlüftungsgase wurden für alle Motorbetriebszustände der Verbrennung wieder zugeführt und diese Emissionsquelle damit ab US-Modelljahr 1968 gänzlich ausgeschaltet. Details dieses Systems wurden bereits in Kap. 2.1 behandelt. Die Motormaßnahmen umfaßten Eingriffe an der Zündung und am Gemischaufbereitungssystem, wobei der Zündzeitpunkt im Leerlauf und/oder bei unterer Teillast in Richtung spät verlegt, bei Vergasermotoren zusätzlich die Leerlaufgemischkalibrierung und/oder die Düsenbestückung geändert und bei Einspritzmotoren zusätzlich eine Kraftstoffabschaltung im Schub eingeführt wurden.

Obwohl diese Maßnahmen zur Erfüllung der gesetzlichen Grenzwerte führten, bedeuteten sie außer erhöhten Kosten und gestiegenem Wartungsaufwand im Falle der notwendigen Zündungsmaßnahmen eine Erhöhung des Kraftstoffverbrauches der Fahrzeuge. Dieses im Modelljahr 1968 erstmals notwendige Verfahren einer Schadstoffabsenkung mittels Spätzündungsmaßnahmen war durch den bis Modelljahr 1971 gültigen Kalifornien-Test begünstigt, der lediglich Konzentrationsveränderungen im Abgas registrierte, jedoch das mit der Kraftstoffverbrauchserhöhung gleichzeitig gestiegene Abgasvolumen nicht berücksichtigte.

Als Ausnahme muß in diesen beiden Modelljahren die Nachverbrennung durch Lufteinblasung in die Auslaßkanäle des Zylinderkopfes angesehen werden, die an den Sechszylinder-Vergasermotoren besonders zur Erfüllung der Kohlenwasserstoff-Grenzwerte verwendet wurde. Diese Anlage gehört vom Bauaufwand und Charakter her bereits zu den sonst erst in späteren Modelljahren einsetzenden "add-on devices", d. h. zu den zusätzlich aus Abgasreinigungsgründen an den Motor angebauten Teile.

4.1.2 Modelljahre 1970 bis 1972

Mit dem Modelljahr 1970 wurden zusätzlich zur Kurbelgehäuse- und Auspuffemission noch die Verdunstungsemissionen aus dem Kraftstoffsystem (z. B. Tank, Vergaser) begrenzt. Die neuen Vorschriften hatten die Einführung der Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse ("Crankcase Storage") zur Folge. Dieses Prinzip wurde bis einschließ-

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen- klasse (lbs)	Zyl- Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem
					Beschreibung
220/8	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	Closed Crankcase Engine Modification  Crankcase Storage	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1968/1969. Einführung der transistorisierten Spulenzündung; Gesteuerte Zündungs-Spätverstellung: aufgehoben bei $t_{kw} > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Drosselklappenanhebung im Schiebebetrieb: EIN: $n_{mot} > 2000\text{ U/min}$ ; AUS: $n_{mot} < 1800\text{ U/min}$ ; Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse.
250/8 250 C/8 280 S/8	Vergaser: 2 x Zenith 35/40 INAT (SOLEX)	3500	L-6	Closed Crankcase Engine Modification  Crankcase Storage	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1968/1969. Einführung der transistorisierten Spulenzündung; Gesteuerte Zündzeitpunktumschaltung: nach spät: $17\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{kw} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $n_{mot} < 2200\text{ U/min}$ ; nach früh: $17\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{kw} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $n_{mot} > 2400\text{ U/min}$ oder bei $t_{kw} < 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder bei $t_{kw} > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Drosselklappenanhebung im Schiebebetrieb: EIN: $17\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{kw} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $n_{mot} > 2000\text{ U/min}$ ; AUS: $17\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{kw} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $n_{mot} < 1800\text{ U/min}$ oder $t_{kw} < 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder $t_{kw} > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse.
280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8 300 SEL/8 280 SE/8 Coupé 280 SE/8 Cabrio	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	3500  4000	L-6	Closed Crankcase Engine Modification  Crankcase Storage	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1968/1969. Einführung der transistorisierten Spulenzündung; Gesteuerte Zündzeitpunktspätverstellung: EIN: $17\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{kw} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $n_{mot} < 2200\text{ U/min}$ ; AUS: $17\text{ }^{\circ}\text{C} < t_{kw} < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $n_{mot} > 2400\text{ U/min}$ oder $t_{kw} < 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder $t_{kw} > 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; Geändertes Einspritzpumpen-Kennfeld; Kraftstoffabschaltung im Schiebebetrieb ähnlich 1968/1969: mech. Getriebe: $t_{kw} > 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Fahrt im 3. oder 4. Gang und DK in Nullstellung und Kupplung nicht betätigt; autom. Getriebe: $t_{kw} > 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $v_{Fzg} > 30\text{ bis }35\text{ km/h}$ und DK in Nullstellung. Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse.
300 SEL/8-6.3 600	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	4500 5500	V-8	Closed Crankcase Engine Modification  Crankcase Storage	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1968/1969. Geändertes Einspritzpumpen-Kennfeld. Kraftstoffabschaltung im Schiebebetrieb bei $n_{mot} > 750\text{ U/min}$ und Fahrt im 3. oder 4. Gang und DK in Nullstellung und $t_{kw} > 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse.

Bild III.4-3: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1970, [723].

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwingmassen-klasse (lbs)	Zyl-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
220/8	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	CC/CS Engine Modification	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1970. Gegenüber 1970 nur Zündzeitpunkt-Spätverstellung geändert: AUS: $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ und $n_{mot} > 2400\text{ U/min}$ oder $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ .
250/8, 250 C/8 280 S/8	Vergaser: 2 x Zenith 35/40 INAT (SOLEX)	3500	L-6	CC/CS Engine Modification	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1970. Gegenüber 1970 zusätzlich: Einführung von Leerlaufabschaltventilen an den Vergasern.
280 SL/8 280 SE/8 280 SEL/8	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	3500 4000	L-6	CC/CS/EM	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle und Motormaßnahmen: wie 1970.
280 SE/9-3.5 280 SEL/9-3.5 280 SE/9-3.5 Cabrio 280 SE/9-3.5 Coupé	Elektronische Benzin-Einspritzung (BOSCH D-Jetronic)	4000	V-6	Closed Crankcase (CC) Crankcase Storage (CS) Engine Modification (EM)	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem. Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse. Einsatz der transistorisierten Spulenzündung. Gesteuerte Zündzeitpunktverstellung nach spät: EIN: DK in Nullstellung und $V_{250} < 47\text{ bis }35\text{ km/h}$ und $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ ; AUS: $V_{250} > 50\text{ bis }85\text{ km/h}$ oder $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ ; Kraftstoffabschaltung im Schiebetrieb: AUS: $n_{mot} < 1470\text{ U/min}$ bei $t_{kw} = -20^\circ\text{C}$ bis AUS: $n_{mot} < 900\text{ U/min}$ bei $t_{kw} > 70^\circ\text{C}$ (linear gesteuert); EIN: DK in Nullstellung und $n_{mot} > 1500\text{ U/min}$ .
300 SEL/6-3 600	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	4500 5500	V-8	CC/CS/EM	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle und Motormaßnahmen: wie 1970.

DK = Drosselklappe

Bild III.4-4: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1971, [723].

lich Modelljahr 1973 und teilweise noch im Modelljahr 1974 eingesetzt und ist bereits in Kap. 2.2 bezüglich seiner Funktion erläutert. In Bild III.4-3 ist wieder eine Zusammenfassung aller Fahrzeuge und Maßnahmen dieses Modelljahres gegeben.

Die Motormaßnahmen wurden ab Modelljahr 1970 durch zusätzliche Steuerelemente wie Temperatur- und Drehzahlschalter ergänzt, wobei besonders der Zündzeitpunkt in Abhängigkeit von Motorparametern wie Kühlwassertemperatur und Motordrehzahl gesteuert wurde. Entsprechend den steigenden Anforderungen an das Zündsystem erfolgte im Modelljahr 1970 auch die Einführung der transistorisierten Spulenzündung an den Vier- und Sechszylinder-Motoren. Details von Modelljahr 1971 sind in Bild III.4-4 dargestellt.

Einen Höhepunkt und zugleich eine Wende erreichte das Prinzip der Abgasreinigung durch Motormaßnahmen im Modelljahr 1972. Nur mit einem zum Teil enormen Aufwand an Zusatz-

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwingmassen-klasse (lbs)	Zyl-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
220	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	Closed Crankcase Crankcase Storage Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem: wie 1971. Neue Ventileinheit (Tankbe- und -entlüftung) und Verlagerung des Ventils aus Kofferraum unter Wagenboden. Zündungsverstellkennlinien geändert, Steuerung der Zündung wie 1971; Vergaser erhält geänderte Düsenadel; Verdichtung reduziert.
250 250 C	Vergaser: 2 x Zenith 32/40 INAT (SOLEX)	3500	L-6	Closed Crankcase Crankcase Storage Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem: wie 1971. Zusätzlich zur Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse Einsatz eines Aktivkohleringes im Luftfilter; Neue Ventileinheit (wie Typ 220) unter Wagenboden. Zündungsverstellkennlinien und Zündzeitpunktsteuerung geändert: nach früh: $t_{kj} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ oder $t_{kj} > 17^\circ\text{C}$ oder $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ und $n_{mot} > 2500\text{ U/min}$ ; nach spät: $t_{kj} > 17^\circ\text{C}$ und $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ und $n_{mot} < 2200\text{ U/min}$ ; Vergaser erhält andere Düsenbestückung, andere Ständerbeheizung; kleineres Schwimmergehäuse; Entfall Schwimmerkammerbelüftungsventil; Drosselklappenanhebung wie 1971, jetzt aber abhängig von $t_{kj}$ gesteuert. Verdichtung reduziert.
280 SE	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	4000	L-6	Closed Crankcase Crankcase Storage Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem: wie 1971. Neue Ventileinheit (Tankbe- und -entlüftung) und Verlagerung des Ventils aus Kofferraum unter Wagenboden. Zündungsverstellkennlinien und Zündzeitpunktsteuerung geändert: Spitzzündung EIN: $t_{kj} > 17^\circ\text{C}$ und $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ und $n_{mot} < 2200\text{ U/min}$ ; AUS: $t_{kj} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ oder $t_{kj} > 17^\circ\text{C}$ und $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ und $n_{mot} > 2500\text{ U/min}$ oder Fahrt im 4. Gang. Geändertes Einspritzkennfeld; Drosselklappenanhebung EIN: $n_{mot} < 600\text{ U/min}$ oder Klimakompressor in Betrieb oder Rückwärtsgang; eingelegt oder Getriebe in Stufe L, S, D. Schubverbrennung durch Zusatzluft: EIN: $t_{kj} > 17^\circ\text{C}$ und DK in Nullstellung und $n_{mot} > 2800\text{ U/min}$ im 1., 2. oder 3. Gang oder stets im 4. Gang; AUS: $n_{mot} < 2600\text{ U/min}$ oder $t_{kj} < 17^\circ\text{C}$ ; Schubverbrennung durch Zusatzluft und Zusatzkraftstoff: EIN: wenn 1., 2. oder 3. Gang eingelegt und $n_{mot} < 2600\text{ U/min}$ ; Verdichtung reduziert.
280 SL 1) 280 SE-4.5 280 SEL-4.5 300 SEL-4.5 1) mit 4,5-Liter-Motor	Elektronische Benzin-Einspritzung (BOSCH D-Jetronic)	4000 4500	V-6	Closed Crankcase Crankcase Storage Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem. Speicherung der Tankverdunstungsgase im Kurbelgehäuse (Ventileinheit unter Wagenboden). Zündzeitpunktsteuerung im Prinzip wie 3,5-Liter-Motoren 1971, aber jetzt abhängig von Kühlwassertemperatur; Spätverstellung EIN: im Leerlauf und Schiebetrieb bei $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ und Klimakompressor nicht in Betrieb; Spätverstellung AUS: $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ oder Klimakompressor eingeschaltet. Einsatz der transistorisierten Spulenzündung mit Übergang auf Si-Transistoren; Einspritzkennfeld gegenüber 3,5-Liter-Motoren von 1971 geändert. Von vornherein auf Niederverdichtung (8,0) ausgelegt.
300 SEL-6.3 600	Mechanische Benzin-Einspritzung (BOSCH)	4500 5500	V-8	Closed Crankcase Crankcase Storage Engine Modification	Geschlossenes Kurbelgehäuse-Entlüftungssystem: wie 1971. Neue Ventileinheit (Tankbe- und -entlüftung) und Verlagerung des Ventils aus Kofferraum unter Wagenboden. Außer 300 SEL-6.3: Einsatz der transistorisierten Spulenzündung mit Übergang auf Si-Transistoren, Zündverstellung abhängig von DK-Stellung und Kühlwassertemperatur; Spitzzündung: EIN: DK in Nullstellung und $t_{kw} < 100^\circ\text{C}$ und Klimakompressor nicht eingeschaltet, AUS: Fahrbetrieb (außer Schub) oder $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ oder Klimakompressor eingeschaltet; Geändertes Einspritzkennfeld; Entfall Kraftstoffabschaltung im Schiebetrieb aber statt dessen Schubverbrennung durch Zusatzluft: EIN: DK in Nullstellung und $[V_{250} > 24\text{ km/h}$ im 2., 3. oder 4. Gang] und $t_{kj} > 17^\circ\text{C}$ . Verdichtung reduziert.

DK = Drosselklappe

Bild III.4-5: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1972, [723].

schaltelementen war es noch möglich, die Abgasgrenzwerte ohne den Einsatz von "Add-On"-Teilen (siehe Modelljahr 1973 und später) zu erfüllen. Bild III.4-5 gibt in tabellarischer Form die in diesem Modelljahr eingesetzten Motormaßnahmen mit ihrem Steuer- und Schaltaufwand wieder.

Aufgrund einer kalifornischen Vorschrift, daß die Motoren im Modelljahr 1972 auch



klopffrei mit ROZ-91-Kraftstoff die Abnahmebedingungen erfüllen mußten, erfolgte an allen Modellen eine entsprechende Verdichtungsreduzierung, die - zusammen mit den seit Modelljahr 1968 angewendeten (Spät-)Zündungsmaßnahmen - eine weitere Verschlechterung des Kraftstoffverbrauches der Motoren mit sich brachte.

#### 4.1.3 Modelljahr 1973

Bild III.4-6 faßt die Maßnahmen dieses Modelljahres zusammen. Waren bis einschließlich Modelljahr 1971 nur Kohlenwasserstoffe (HC) und Kohlenmonoxid (CO) in den Aus-

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen-klasse (lbs)	Zyl-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
220	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	CC/CS Engine Modification  Exhaust Gas Recirculation	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1972. Gesteuerte Zündzeitpunktverstellung nach spät: EIN: $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} < 1800\text{ U/min}$ . AUS: $t_{01} < 25^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} > 2000\text{ U/min}$ ; Drosselklappenanhebung im Schiebebetrieb; EIN: $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} > 2000\text{ U/min}$ ; AUS: $t_{01} < 25^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} < 1800\text{ U/min}$ . Einführung einer gesteuerten Abgasrückführung: EIN: $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} < 3400\text{ U/min}$ , AUS: $t_{01} < 25^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} > 3800\text{ U/min}$ .
280 280 C	Vergaser: 1 x Doppelregister 4A1 (SOLEX)	3500	L-6	CC/CS Engine Modification (EM)  Exhaust Gas Recirculation (EGR)	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1972. Gesteuerte Zündzeitpunktverstellung nach spät: EIN: $t_{01} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 100^\circ\text{C}$ oder Klimakompressor eingeschaltet oder Fahrt im 4. Gang oder $t_{01} > 17^\circ\text{C}$ und $t_{01} < 100^\circ\text{C}$ mit $n_{\text{mot}} > 3200\text{ U/min}$ oder $0 < p_u < 0,2\text{ bar}$ (Saugrohrunterdruck); Drosselklappenanhebung im Prinzip wie 1970, 1971, 1972, aber ab 1972 über $t_{01}$ statt über $t_{01}$ gesteuert. Einführung einer gesteuerten Abgasrückführung: EIN: $t_{01} > 17^\circ\text{C}$ und $65^\circ\text{C} < t_{01} < 100^\circ\text{C}$ und $0 < p_u < 0,2\text{ bar}$ (Saugrohrunterdruck) und $n_{\text{mot}} < 2800\text{ U/min}$ , AUS: $t_{01} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{01} < 65^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 100^\circ\text{C}$ oder $p_u > 0,2\text{ bar}$ oder $n_{\text{mot}} > 3200\text{ U/min}$ im Bereich $t_{01} > 17^\circ\text{C}$ und $65^\circ\text{C} < t_{01} < 100^\circ\text{C}$ und $0 < p_u < 0,2\text{ bar}$ .
450 SL 280 SE-4.5 280 SEL-4.5 300 SEL-4.5	Elektronische Benzin-Einspritzung (BOSCH D-Jetronic)	4000 4500	V-8	CC/CS/EM	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle und Motormaßnahmen: wie 1972.

CC = Closed Crankcase, CS = Crankcase Storage.

Bild III.4-6: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1973, [723].

puffgasen begrenzt, und konnte der erstmalig im Modelljahr 1971 gültige  $\text{NO}_x$ -Grenzwert bis einschließlich Modelljahr 1972 noch durch Motormaßnahmen erfüllt werden, so kam ab Modelljahr 1973 als neues Abgasreinigungssystem die "Abgasrückführung" (EGR = "Exhaust Gas Recirculation") zur Senkung der  $\text{NO}_x$ -Anteile im Abgas hinzu. Über ein Ventil, das in Abhängigkeit von Parametern, wie z. B. Öl- und Wassertemperatur, Motordrehzahl und Unterdruck gesteuert wurde, erfolgte teilweise Rückführung der Abgase zur Senkung der Verbrennungs-Spitztemperatur und damit der  $\text{NO}_x$ -Bildung.

#### 4.1.4 Modelljahr 1974

Eine Übersicht aller Maßnahmen dieses Modelljahres zeigt Bild III.4-7. Aufgrund der nahezu ständig unterschiedlichen Abgasgesetzgebung zwischen den überigen 49 Staaten der USA und Kalifornien ergab sich für Daimler-Benz erstmals im Modelljahr 1974

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen-klasse (lbs)	Zyl-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
230	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	CC/CS Engine Modification (EM)  Exhaust Gas Recirculation	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie Typ 220/1973. Zusätzliche Zündzeitpunkt-Früherstellung: EIN: $t_{01} < 25^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} < 2000\text{ U/min}$ , AUS: $t_{01} > 25^\circ\text{C}$ und $n_{\text{mot}} < 1800\text{ U/min}$ , sonst wie Typ 220/1973. Steuerung der Abgasrückführung wie beim Typ 220/1973.
280 BUND Version 280 C	Vergaser: 1 x Doppelregister 4A1 (SOLEX)	3500	L-6	CC/CS Engine Modification Exhaust Gas Recirculation	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: im Prinzip wie 1973. Steuerung der Zündzeitpunktverstellung im Prinzip wie 1973, jetzt jedoch auf $n_{\text{mot}} = 3400\text{ U/min}$ bezogen. Steuerung der Abgasrückführung im Prinzip wie 1973, jetzt jedoch mit 3000/3400 U/min Drehzahlschalter.
280 KALIF. Version 280 C	Vergaser: wie BUND-Version	3500	L-6	Unterschiede gegenüber BUND-Version Closed Crankcase Canister Storage Engine Modification  Exhaust Gas Recirculation  Thermal Reactor Air Injection	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1973. Einführung eines Aktivkohlekanisters zur Speicherung der Tankverdunstungsgase; im Fahrbetrieb erfolgt Absaugen und Verbrennen der gespeicherten Gase, wodurch der Aktivkohlekanister regeneriert wird. Geänderte Zündzeitpunkt-Späterstellung: EIN: $t_{01} > 17^\circ\text{C}$ und $t_{01} < 65^\circ\text{C}$ sowie bei $65^\circ\text{C} < t_{01} < 100^\circ\text{C}$ und $0,2 < p_u < 0,8\text{ bar}$ (Schalt-Unterdruck) und Klimakompressor ausgeschaltet; AUS: $t_{01} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{01} > 100^\circ\text{C}$ oder $0 < p_u < 0,2\text{ bar}$ (Schalt-Unterdruck) im Temperaturbereich $65^\circ\text{C} < t_{01} < 100^\circ\text{C}$ oder Klimakompressor eingeschaltet; Vergaser erhält unterdruckgesteuertes Schwimmmerkmantelbelüftungsventil und Anschluß zum Absaugen der im Aktivkohlekanister gespeicherten Tankverdunstungsgase. Abgasrückführung wie folgt gesteuert: EIN: $t_{01} > 65^\circ\text{C}$ und $0 < p_u < 0,2\text{ bar}$ (Schalt-Unterdruck), AUS: $t_{01} < 65^\circ\text{C}$ oder $0,2 < p_u < 0,8\text{ bar}$ (Schalt-Unterdruck), d. h. bei geschlossener Drosselklappe im Leerlauf und Schiebebetrieb. Einsatz von 2 thermischen Reaktoren mit ständiger Lufteinblasung vor die Reaktoren außer bei: $n_{\text{mot}} > 3450\text{ U/min}$ oder im Schiebebetrieb mit $n_{\text{mot}} < 3450\text{ U/min}$ .
450 SL BUND Version 450 SLC 450 SE 450 SEL	Elektronische Benzin-Einspritzung (BOSCH D-Jetronic)	4000 4500	V-8	CC/CS/EM	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle und Motormaßnahmen: wie 1973.
450 SL KALIF. Version 450 SLC 450 SE 450 SEL	Elektronische Benzin-Einspritzung (BOSCH D-Jetronic)	4000 4500	V-8	Unterschiede gegenüber BUND-Version CC/CS/EM Exhaust Gas Recirculation Air Injection	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle und Motormaßnahmen: wie BUND-Version. Abgasrückführung wird abhängig von Drosselklappenstellung und Saugrohrunterdruck ( $p_u$ ) gesteuert. Einführung eines Nachverbrennungssystems mit Lufteinblasung in die Zylinderköpfe im Leerlauf und im Fahrbetrieb, solange $p_u > 0,53\text{ bar}$ .

CC = Closed Crankcase, CS = Crankcase Storage.

Bild III.4-7: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1974, [723].

die Notwendigkeit, zwischen Bund- und Kalifornien-Ausführung im Verkaufsprogramm zu trennen. Während die Bund-Versionen im Prinzip die Maßnahmen des Modelljahres 1973 behielten (wenn auch mit Detailänderungen), wurden für Kalifornien thermische Reaktoren (TR = "Thermal Reactor") mit Lufteinblasung als neues Abgasreinigungssystem eingesetzt. Auch das Prinzip der Kurbelgehäusespeicherung für die Tankverdunstungsgase mußte geändert und durch Speicherung der Verdunstungsgase aus Tank und Vergaser in einem Aktivkohlekanister ersetzt werden.

4.1.5 Modelljahre 1975 und 1976

Für diese Modelljahre wurden teilweise im Prinzip die im Modelljahr 1974 an den Kalifornien-Modellen angewandten Maßnahmen verwendet. Für die 6- und 8-Zyl.-Motoren kam jedoch wiederum ein neues Abgasreinigungssystem, der Oxidationskatalysator (OC =

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen- klasse (lbs)	Zyl.- Zahl	Emissionskontrollsystem	
				Engl. Bezeichnung	Beschreibung
230 BUND Version	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	CC/EGR Canister Storage (CAN) Engine Modification (EM)  Thermal Reactor (TR) Air Injection (AI)	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Abgasrückführung wie 1973 und 1974. Einführung eines Aktivkohlebehälters zur Speicherung der Tankverdunstungsgase. Vergaser erhält Schwimmkammerbelüftungsventil und Anschluß zum Absaugen der im Aktivkohlekanister gespeicherten Tankverdunstungsgase; sonst wie 1973. Einsatz einer Nachverbrennungsanlage, bestehend aus thermischem Reaktor (erweiterte Auspuffrohre) sowie Lufteinblasung in die Zylinderköpfe im Fahrbetrieb bei $t_{kj} > 25^{\circ}\text{C}$ .
230 KALIF. Version	Vergaser: wie BUND-Version	3500	L-4	Unterschiede gegenüber BUND-Version CC/CAN/EM/EGR/AI Oxidation Catalyst (OC)	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle, Motormaßnahmen, Abgasrückführung, Lufteinblasung wie BUND-Version. Die Nachverbrennungsanlage besteht hier aus einem motornahen (Monolith-)Oxidationskatalysator.
280 280 C 280 S	Vergaser: 1 x Doppelregister 4A1 (SOLEX)	4000	L-6	CC/CAN Engine Modification  Exhaust Gas Recirculation Oxidation Catalyst Air Injection	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1974. Vergaser erhält Schwimmkammerbelüftungsventil, Temperatur-Nebenanschluß (TN-)Startautomatik, Zweistufenentladung für Starterdeckel und Absaugenschluß für Tankverdunstungsgase. Abgasrückführung im Fahrbetrieb abhängig von $t_{kw}$ : EIN: $t_{kw} > 65^{\circ}\text{C}$ und Fahrstufe eingelegt Einführung eines motornahen (Monolith-)Oxidationskatalysators wie beim Typ 230-KALIF. Lufteinblasung in den Zylinderkopf im Fahrbetrieb bei $t_{kj} > 17^{\circ}\text{C}$ (außer Schiebebetrieb = Luftabbläsung).
450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL	Elektronische Benzin-Einspritzung (BOSCH D-Jetronic)	4000	V-8	CC/CAN Engine Modification Exhaust Gas Recirculation  Oxidation Catalyst Air Injection	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1974. Einführung einer Zündzeitpunktumschaltung: Split-Schaltung wie 1972 bis 1974, nach früh: $t_{kw} > 40^{\circ}\text{C}$ . Einführung einer Zstufen Abgasrückführung: kleine Menge (1. Stufe) im Fahrbetrieb bei $t_{kw} > 40^{\circ}\text{C}$ ; große Menge (2. Stufe) beim Beschleunigen mit $t_{kw} > 40^{\circ}\text{C}$ und $p_{kj} < 0,32$ bar Unterdruck am Klappenstutzen. Einsatz von je 1 motornahen (Monolith-)Oxidationskatalysator pro Zylinderbank. Lufteinblasung in die Zylinderköpfe bei $t_{kj} > 17^{\circ}\text{C}$ . Luftabbläsung bei $t_{kj} < 17^{\circ}\text{C}$ .
		4500			

CC = Closed Crankcase, EGR = Exhaust Gas Recirculation.

Bild III.4-8: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1975, [723].

"Oxidation Catalyst") hinzu. Daimler-Benz verwendete hierbei motornaher monolithische Katalysatoren mit keramischem Träger und Platin/Palladium-Beschichtung. Bild III.4-8 gibt Details von Modelljahr 1975 wieder. Im Modelljahr 1976 wurden an den Achtzylinder-V-Motoren die elektronische Benzineinspritzung durch die im Prinzip mechanisch arbeitende kontinuierliche Benzineinspritzung mit Luftmengenmessung abgelöst (Bosch "K-Jetronic") und die Motoren enthielten eine kontaktlose Transistorzündung. Bild III.4-9 faßt die 1976er Anlagen zusammen.

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen- klasse (lbs)	Zyl.- Zahl	Emissionskontrollsystem	
				Engl. Bezeichnung	Beschreibung
230 BUND Version 230 KALIF. Version	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDT (SOLEX)	3500	L-4	CC/CAN/EM/EGR/TR/AI CC/CAN/EM/EGR/OC/AI	Auch im Modelljahr 1976 Splitting zwischen BUND- und KALIF.-Version mit dem wesentlichen Unterschied Reaktor/Katalysator und sonstige Maßnahmen auch wie 1975.
280/280 C 280 S	Vergaser: 1 x Doppelregister 4A1 (SOLEX)	4000	L-6	CC/CAN/EGR/OC/AI  Engine Modification (EM)	
450 SL 450 SLC 450 SE 450 SEL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	V-8	CC/CAN Engine Modification  Exhaust Gas Recirculation Oxidation Catalyst (OC) Air Injection (AI)	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1975. Einführung der kontinuierlichen Kraftstoffeinspritzung mit Luftmengenmessung und Einführung der kontaktlosen Transistorzündung. Abgasrückführung: Im Prinzip wie 1975, aber Steuerdruck auf 0,27 bar geändert. Im Schaltprinzip wie 1975, aber statt über $t_{kj}$ jetzt über $t_{kw}$ gesteuert; Luftabbläsen: $t_{kw} < 10^{\circ}\text{C}$ .
		4500			

CC = Closed Crankcase, CAN = Canister Storage, EGR = Exhaust Gas Recirculation, TR = Thermal Reactor.

Bild III.4-9: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1976, [723].

#### 4.1.6 Modelljahre 1977 und 1978

In Parallelität zu dem unter Modelljahr 1972 beschriebenen Höhepunkt der Motormaßnahmen kann im Modelljahr 1977 von einem Höhepunkt der "Add-On"-Maßnahmen gesprochen werden. Zwar änderten sich gegenüber der aufwendigsten Technologie des Modelljahres 1976 (Oxidations-Katalysator) die Abgasreinigungsmaßnahmen für 1977 nicht grundsätzlich, aber das OC-Prinzip erfuhr bei den Sechszylinder-Motoren des Modelljahres 1977

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwingmassen-klasse (lbs)	Zyl.-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
230	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDTU (SOLEX)	3500	L-4	CC/CAN Engine Modification (EM)  Exhaust Gas Recirculation (EGR) Multifunctional Catalyst (CAT) Air Injection (AI)	Kurbelgehäuse-Entlüftung und Tankverdunstungskontrolle: wie 1976. Vergaser erhält: Leerlaufsystem mit Ummisch und Umluft, geänderten Starter sowie (nur BUND) Höheneinstellvorrichtung. DK-Anhebung im Schub nicht mehr über $t_{kw}$ und $n_{mot}$ (wie 1973 bis 1975), sondern abhängig von DK-Stellung gesteuert. Der Typ 230 erhält im laufenden Modelljahr die kontaktlose Transistorzündung. Abgasrückführung in Teillast und beim Beschleunigen bei $t_{kw} > 17^\circ\text{C}$ abhängig von Drosselklappenstellung. AUS = bei $t_{kw} < 17^\circ\text{C}$ oder im Leerlauf oder im Schiebebetrieb oder bei Vollast. Umstellung auf multifunktionalen Unterboden-Katalysator (zwei Monolithen in einem Behälter). Lufteinblasung wird umgeschaltet von „vor Monolith 1“ ( $17^\circ\text{C} < t_{kw} < 50^\circ\text{C}$ ) auf „vor Monolith 2“ ( $t_{kw} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{kw} > 50^\circ\text{C}$ ).
280 E BUND 280 SE Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	L-6	Closed Crankcase (CC) Canister Storage (CAN) Engine Modification  Exhaust Gas Recirculation  Oxidation Catalyst (OC) Air Injection	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung. Einsatz eines Aktivkohlekanisters zur Speicherung der Tankverdunstungsgase wie Vergasermotor Modelljahr 1976. Kühlwassertemperaturabhängige Zündzeitpunktverstellung: Spätzündung nur bei geschlossener DK. Spätzündung AUS: $t_{kw} > 100^\circ\text{C}$ oder Klimakompressor eingeschaltet. Einsatz der kontaktlosen Transistorzündung. Einsatz der kontinuierlichen Kraftstoffeinspritzung mit Luftmengenmessung. Motor von vornherein auf Niederverdichtung (8,0) ausgelegt. Abgasrückführung nur im Teillastbereich bei $t_{kw} > 40^\circ\text{C}$ . AUS: Leerlauf oder Schub oder Vollast oder Teillast mit $t_{kw} < 40^\circ\text{C}$ . Einsatz eines (Monolith-)Unterboden-Oxidationskatalysators. Lufteinblasung in den Zylinderkopf bei $t_{kw} > 17^\circ\text{C}$ ; Lufteinblasung bei $t_{kw} < 17^\circ\text{C}$ .
280 E KALIF. 280 SE Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	L-6	CC/CAN/EM/EGR/OC  Multifunctional Catalyst (CAT)  Air Injection	Unterschiede gegenüber BUND-Version Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle, Motormaßnahmen, Abgasrückführung und Oxidationskatalysator: wie BUND-Version. Zusätzlicher Einsatz von zwei motornahe multifunktionalen „Startkatalysatoren“, die in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt im Abgas reduzierend oder oxidierend wirken. Lufteinblasung mit Umschaltung von „vor CAT“ ( $17^\circ\text{C} < t_{kw} < 50^\circ\text{C}$ ) auf „vor OC“ ( $t_{kw} < 17^\circ\text{C}$ oder $t_{kw} > 50^\circ\text{C}$ ).
450 SL BUND 450 SLC Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	V-8	CC/CAN/EM Exhaust Gas Recirculation Multifunctional Catalyst (CAT) Air Injection CC/CAN/EM/EGR/AI Oxidation Catalyst	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle und Motormaßnahmen: wie 1976. Abgasrückführung: wie Typ 280 E/SE. Umstellung auf multifunktionalen Unterbodenkatalysator (1 Monolith für beide Zylinderbänke). Einführung eines selbstansaugenden „Lufteinblase“-Systems (Entfall der bisher verwendeten Luftpumpe). Wie 450 S/SLC (siehe oben). Umstellung auf Unterboden-Oxidationskatalysator (je 1 Monolith pro Zylinderbank).
450 SEL		4500			
450 SL KALIF. 450 SLC Version 450 SEL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000 4500	V-8	CC/CAN/EM/EGR Oxidation Catalyst  Air Injection	Unterschiede gegenüber BUND-Version Kurbelgehäuse-Entlüftung, Tankverdunstungskontrolle, Motormaßnahmen und Abgasrückführung: wie BUND-Version. Bei S/SLC zwei Monolithen in einem Behälter, mit einem gegenüber BUND verdoppelten Gesamtvolumen. Bei SEL wie BUND, aber ebenfalls verdoppeltes Katalysatorvolumen. Lufteinblasung mit Luftpumpe in die Zylinderköpfe bei $t_{kw} > 17^\circ\text{C}$ im Leerlauf, Schiebe- und Teillastbetrieb.
450 SEL-6.9	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4500	V-8	Closed Crankcase Canister Storage Engine Modification  Exhaust Gas Recirculation  Oxidation Catalyst Air Injection	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung. Speicherung der Tankverdunstungsgase in einem Aktivkohlebehälter. Verwendung von Niederverdichtung, kontaktloser Transistorzündung und kontinuierlicher Benzin-Einspritzung mit Luftmengenmessung. Gesteuerte Abgasrückführung: EIN: $t_{kw} > 40^\circ\text{C}$ beim Beschleunigen, im Teillastbereich und Übergang in den Schiebebetrieb; AUS: $t_{kw} < 40^\circ\text{C}$ im Leerlauf, im Schiebebetrieb und bei Vollast. Einsatz eines (Monolith-)Unterboden-Oxidationskatalysators (je 1 Monolith pro Zylinderbank). Lufteinblasung mit Luftpumpe in die Zylinderköpfe: EIN: $t_{kw} > 17^\circ\text{C}$ im Leerlauf, Teillast- oder Schiebebetrieb.

DK = Drosselklappe

Bild III.4-10: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1977, [723].

für Kalifornien eine nennenswerte Erweiterung: Zusätzlich zur Umstellung vom motornahe auf Unterbodenkatalysator bei allen Motormodellen erhielten die Sechszylinder-Versionen für Kalifornien zwei zusätzliche motornahe sogenannte multifunktionale Startkatalysatoren (ebenfalls Monolithen) mit Umschaltung der Einblaseluft von Start- zu Unterbodenkatalysator in Abhängigkeit von der Motorerwärmung. Beim Warmlauf wirkten durch Lufteinblasung in den Zylinderkopf Start- wie auch Unterbodenkatalysator für

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwingmassen-klasse (lbs)	Zyl.-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
230 <sup>1)</sup> <sup>1)</sup> wird in Kalifornien nicht verkauft	Vergaser: 1 x Stromberg 175 CDTU (SOLEX)	3500	L-4	CC/EGR/CAT/AI Canister Storage (CS) Engine Modification (EM)	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Abgasrückführung, Katalysator und Lufteinblasung: wie 1977. Neues (2-Wege-)Be- und Entlüftungsventil und zusätzliches Spülventil. Temperatur-Zeitschalter für Choke eingeführt, sonst wie 1977.
280 E/CE BUND 280 SE Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	L-6	CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Motormaßnahmen, Abgasrückführung, Oxidationskatalysator und Lufteinblasung: wie 1977. Neues (2-Wege-)Be- und Entlüftungsventil und zusätzliches Spülventil.
280 E/CE KALIF. 280 SE Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	L-6	CC/EM/EGR/OC/CAT/AI Canister Storage	Unterschiede gegenüber BUND-Version Gleiche Unterschiede zur BUND-Version wie 1977. Neues (2-Wege-)Be- und Entlüftungsventil und zusätzliches Spülventil.
450 SL BUND 450 SLC Version 450 SEL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000 4500	V-8	CC/EM/EGR/CAT/AI (für S/SLC) CC/EM/EGR/OC/AI (für SEL) Canister Storage	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Motormaßnahmen, Abgasrückführung, Katalysatoren und Lufteinblasung: wie 1977. Neues (2-Wege-)Be- und Entlüftungsventil und zusätzliches Spülventil.
450 SL KALIF. 450 SLC Version 450 SEL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000 4500	V-8	CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Unterschiede gegenüber BUND-Version Gleiche Unterschiede zur BUND-Version wie 1977. Neues (2-Wege-)Be- und Entlüftungsventil und zusätzliches Spülventil.
450 SEL-6.9	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4500	V-8	CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Motormaßnahmen, Abgasrückführung, Oxidationskatalysator und Lufteinblasung: wie 1977. Neues (2-Wege-)Be- und Entlüftungsventil und zusätzliches Spülventil.

CC = Closed Crankcase, EGR = Exhaust Gas Recirculation, OC = Oxidation Catalyst, AI = Air Injection, CAT = Multifunctional Catalyst

Bild III.4-11: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1978, [723].

die CO- und HC-Kontrolle oxidierend, bei warmem Motor und Lufteinblasung in den Unterbodenkatalysator wirkten die Startkatalysatoren infolge Sauerstoffmangels reduzierend und unterstützten die Abgasrückführung bei der Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen.

An den Vier- und Sechszylinder-Motoren des Modelljahres 1977 wurde eine kontaktlose Transistorzündung eingeführt. Durch Umstellung der Sechszylinder-Vergasermotoren auf kontinuierliche Kraftstoffeinspritzung war im Verkaufsprogramm des Modelljahres 1977 nur noch ein Modell mit (Vierzylinder-)Vergasermotor vertreten, der zur Anpassung an Höhenbedingungen mit einer manuellen Höhenkorrekturmöglichkeit versehen wurde. Bei den Einspritzmotoren erfolgte die Anpassung an Höhenbedingungen durch Teilewechsel und/oder Neueinstellung des Motors in der entsprechenden Höhenlage. Bild III.4-10 zeigt die für Modelljahr 1977 verwendeten Systeme. Im Modelljahr 1978 waren bei den Emissionskontrollanlagen nur kleinere Veränderungen notwendig, so wurde an allen Motoren die Anlage zur Kraftstoffverdunstungskontrolle verfeinert. Am 4-Zyl. Vergasermotor, der in Kalifornien aus Emissionskontrollgründen ab Modelljahr 1978 nicht mehr verkauft werden konnte, wurde in der 49-Staaten Version zur Verkürzung des Warmlaufs ein Temperatur-Zeit Schalter eingeführt. Bild III.4-11 zeigt die 1978er Änderungen.

4.1.7 Modelljahr 1979

Der letzte im Verkaufsprogramm verbliebene 4-Zyl. Vergasermotor entfiel ab Modelljahr 1979 auch für die 49 Staaten. Der 6-Zyl. Einspritzmotor blieb in 49-Staaten- und Kalifornienversion unverändert. An den 4.5 l- und 6.9 l- V 8 Motoren wurde ein geänderter Warmlaufregler eingeführt. In Bild III.4-12 sind die Emissionskontrollmaßnahmen dieses Modelljahres zusammengefaßt.

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen- klasse (lbs)	Zyl- Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem
					Beschreibung
280 E/CE BUND 280 SE Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	L-6	CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Motormaßnahmen, Abgasrückführung, Oxidations-Katalysator und Lufteinblasung: wie 1978.
280 E/CE KALIF. 280 SE Version	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	L-6	Unterschiede gegenüber BUND-Version CC/EM/EGR/OC/CAT/AI Canister Storage	Gleiche Unterschiede zur BUND-Version wie 1978.
450 SL BUND 450 SLC Version 450 SEL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000 4500	V-8	CC/EM/EGR/CAT/AI Canister Storage CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Abgasrückführung, Katalysatoren und Lufteinblasung: wie 1978. Geänderter Warmlaufregler, wahlweise: geteilter Ölblestreifing, Druckausgleichventil in Kraftstoffleitung
450 SL KALIF. 450 SLC Version 450 SEL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000 4500	V-8	Unterschiede gegenüber BUND-Version CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Gleiche Unterschiede zur BUND-Version wie 1978.
450 SEL-6.9	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4500	V-8	CC/EM/EGR/OC/AI Canister Storage	Kurbelgehäuse-Entlüftung, Abgasrückführung, Oxidations-Katalysator und Lufteinblasung: wie 1978. Geänderter Warmlaufregler, Druckausgleichventil in Kraftstoffleitung.

Bild III.4-12: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1979.

4.1.8 Modelljahr 1980

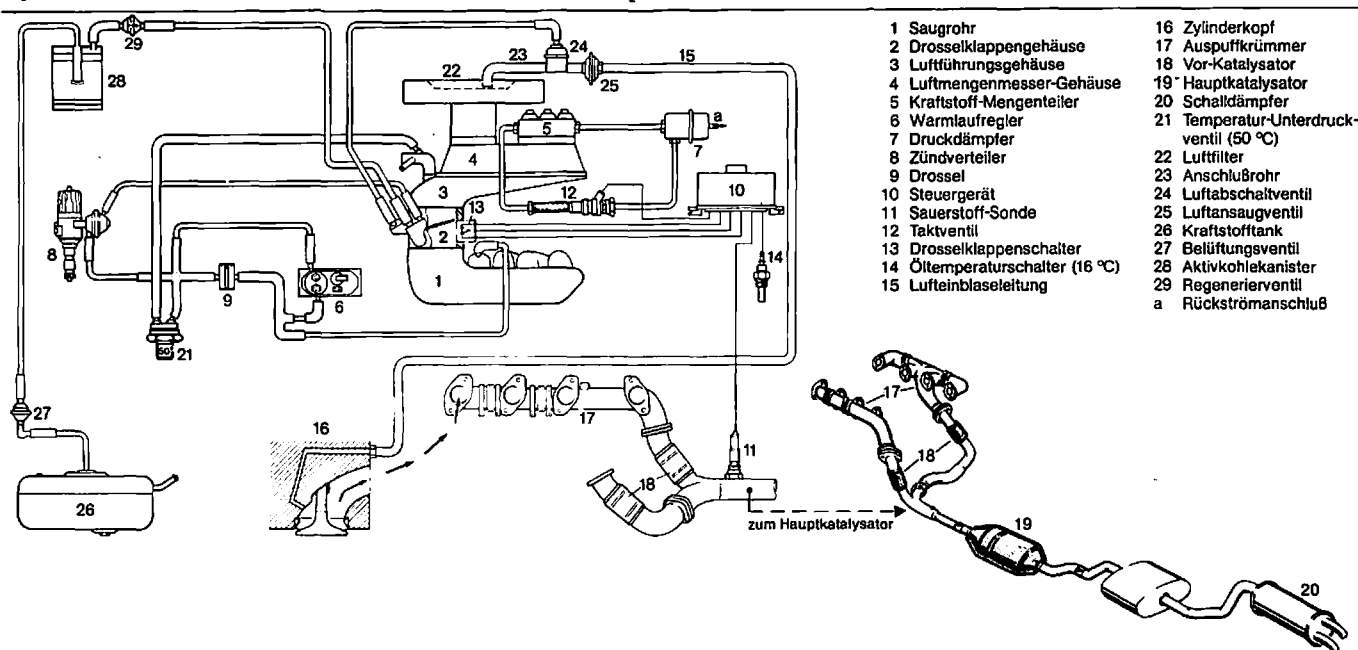
Modelljahr 1980 bedeutete für die Otto-Motoren wieder einen Meilenstein in der Geschichte der Emissionskontrollsysteme: Die 6- und 8-Zyl. Motoren erhielten als 50-Staaten Versionen einen Dreiweg-Katalysator mit O<sub>2</sub>-Sonde. Während der 2.8 l/6-Zyl. Reihenmotor eine temperaturgesteuerte Lufteinblasung in den Zylinderkopf aufwies, arbeitete das im Leerlauf wirkende "Lufteinblasesystem" am 4.5 l/V-8 Motor nach dem Prinzip der Selbstansaugung und auch ohne Temperatursteuerung.

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Äquivalente Testmasse (lbs)	Zyl.-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem
					Beschreibung
280 E 280 CE 280 SE	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	3750 4000	L-6	CC/CAN Engine Modification (EM) CC/CAN/EMI/AI/TWC/OS	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung und Prinzip der Verdunstungskontrolle: wie 1979. Kraftstoffsystem mit O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung EIN (geschlossener Regelkreis); Nominalcharakteristik: t <sub>01</sub> > 16 °C bei Fahrpedalstellungen zwischen Leerlauf und Vollast. Modifizierte Charakteristik: t <sub>01</sub> > 16 °C und Fahrpedalstellung Leerlauf. O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung AUS (offener Regelkreis): Festes Tastverhältnis 50/50, solange Sondentemperatur t <sub>s</sub> < Sondereinschalttemperatur. Festes Tastverhältnis 60/40 bei t <sub>01</sub> < 16 °C oder bei Vollast; Lufteinblasung in den Zylinderkopf bei 17 °C < t <sub>01</sub> < 50 °C; Wärmetauscher Kraftstoff/Klimaanlage (zur Kraftstoffkühlung); Alternatives Be- und Entlüftungsventil sowie Spülventil in der Verdunstungskontrolanlage; Einführung von TWC („Underhood“ und „Underfloor“).
450 SL 450 SLC 450 SEL	Kontinuierliche Benzineinspritzung (BOSCH KA-System)	4000 4250	V-8	CC/CAN/EMI/AI/TWC/OS	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung und Prinzip der Verdunstungskontrolle: wie 1979. Kraftstoffsystem mit O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung EIN (geschlossener Regelkreis); Nominalcharakteristik: t <sub>01</sub> > 16 °C bei Fahrpedalstellungen zwischen Leerlauf und Vollast. Modifizierte Charakteristik: t <sub>01</sub> > 16 °C und Fahrpedalstellung Leerlauf; O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung AUS (offener Regelkreis): Festes Tastverhältnis 50/50, solange Sondentemperatur t <sub>s</sub> < Sondereinschalttemperatur. Festes Tastverhältnis 60/40 bei t <sub>01</sub> < 16 °C oder bei Vollast; Lufteinblasung (Selbstansaugung) in die Zylinderköpfe ohne Temperatursteuerung; bei Fahrpedalstellung Leerlauf; Warmlaufregler mit Beschleunigungsanreicherung. Wärmetauscher Kraftstoff/Klimaanlage (zur Kraftstoffkühlung); Warmlaufregler mit Beschleunigungsanreicherung. Wärmetauscher Kraftstoff/Klimaanlage (zur Kraftstoffkühlung); Alternatives Be- und Entlüftungsventil sowie Spülventil; Einführung von TWC („Underhood“ und „Underfloor“).

CC — Closed Crankcase, CAN — Canister Storage, AI — Air Injection, TWC — Three Way Catalyst, OS — Oxygen Sensor.

**Bild III.4-13:** Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren im US-Modelljahr 1980.

In Bild III.4-13 sind die Details dieses Modelljahres wiedergegeben. Bild III.4-14 zeigt die Anordnung des O<sub>2</sub>-Sonden-gesteuerten/geregelten Dreiwegkatalysatorsystems am Mercedes-Benz 4.5 l/V-8 Einspritzmotor.



**Bild III.4-14:** Emissionskontrollsystem am Mercedes-Benz 4,5 l/V-8-Einspritzmotor des US-Modelljahres 1980 mit multifunktionalen Vor-Katalysatoren, Dreiweg-(Haupt-)Katalysator unter dem Fahrzeugboden und Sauerstoffsonde, [724].

#### 4.1.9 Modelljahre 1981 und 1982

Ab Modelljahr 1981 entfielen die beiden Motoren mit größtem Hubraum aus dem Verkaufsprogramm und zwar nicht aus Emissionskontrollgründen, sondern weil sie durch einen 3.8 l/V-8 Motor in neuer Leichtmetalltechnologie (Gewichtersparnis) ersetzt wurden, der spezielle Maßnahmen zur Verbesserung des Kraftstoffverbrauches beinhaltete. Am 6-Zyl. Motor erfolgten noch weitere emissionsverbessernde Änderungen, z.B. an der Zündung, dem Warmlauf, den Steuerzeiten und der Steuerung der Regenerierung des Kohlekanisters des Verdunstungsemissions-Kontrollsystems.

Das Motor/Fahrzeugprogramm wurde emissionskontrollseitig unverändert in das Modelljahr 1982 übernommen. Bild III.4-15 gibt Einzelheiten zu diesen beiden Modelljahren.

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Äquivalente Testmasse (lbs)	Zyl-Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem Beschreibung
Modelljahr 1981 280 E 280 CE	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	3750	L-6	CC/EM/AI/TWC/OS Canister Storage	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1980. Kraftstoffsystem mit O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung: wie 1980, jedoch - geänderte Kennlinie vom Zusatzluftschieber, - vergrößerter Kraftstofffilter (wartungsfrei über 50 000 Meilen), - geänderte Steuerzeiten der Nockenwelle. Luftreinblasung in Zylinderkopf (Luftansaugung zur Geräuschkämpfung über Motor-Luftfilter). Erhöhte Zündspannung (Kennlinie wie 1980). Katalysatoranlage: wie 1980. Verdunstungskontrollsystem: Regenerierung Kohlebehälter gesteuert über Ansaug-Unterdruck und Thermoventil, EIN: wenn DK offen bei $t_{kw} > 50^\circ\text{C}$ , AUS: wenn DK geschlossen bei $t_{kw} < 50^\circ\text{C}$ .
380 SEL 380 SL 380 SLC	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000 3875	V-8	CC/EM/AI/TWC/OS Canister Storage	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung. Speicherung der Tankverdunstungsgase in einem Aktivkohlebehälter. Regenerierung Kohlebehälter gesteuert über Ansaug-Unterdruck und Thermoventil. EIN: wenn DK offen bei $t_{kw} > 50^\circ\text{C}$ , AUS: wenn DK geschlossen oder bei $t_{kw} < 50^\circ\text{C}$ .
Modelljahr 1982 380 SE 380 SEC	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	4000	V-8	Emissionskontrollmaßnahmen: wie 1981	Kraftstoffsystem mit O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung EIN (geschlossener Regelkreis): Nominalcharakteristik: $t_{di} > 16^\circ\text{C}$ bei Fahrpedalstellungen zwischen Leerlauf und Vollast. Modifizierte Charakteristik: $t_{di} > 16^\circ\text{C}$ und Fahrpedalstellung Leerlauf. O <sub>2</sub> -Sonden-Regelung AUS (offener Regelkreis): Festes Tastverhältnis 50/50, solange Sondentemperatur $t_s < \text{Sondeneinschalttemperatur}$ . Festes Tastverhältnis 60/40 bei $t_{kw} < 16^\circ\text{C}$ oder bei Vollast. Luftreinblasung in den Zylinderkopf bei $t_{kw} < 42^\circ\text{C}$ und $t_{di} > 16^\circ\text{C}$ , solange Sondentemperatur $t_s < \text{Sondeneinschalttemperatur}$ . Wärmetauscher Kraftstoff/Klimaanlage (zur Kraftstoffkühlung).
380 SL	Kontinuierliche Benzin-Einspritzung (BOSCH KA-System)	3875	V-8		

CC – Closed Crankcase, EM – Engine Modification, AI – Air Injection, TWC – Three Way Catalyst, OS – Oxygen Sensor, DK – Drosselklappe.

**Bild III.4-15:** Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Otto-Motoren in den US-Modelljahren 1981 und 1982.

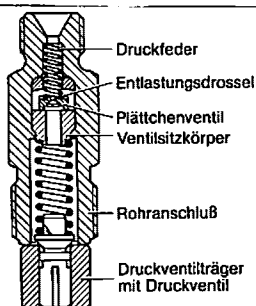
## 4.2 Systeme an Mercedes-Benz Pkw mit Diesel-Motoren

Die Pkw mit Diesel-Motoren unterlagen von Modelljahr 1968 bis Modelljahr 1974 keinerlei gesetzlichen Emissionsauflagen, d.h. es gab Grenzwerte weder für Feststoff- noch für gasförmige Emissionen in einem Fahrzyklus. Bild III.4-16 faßt diesen Zeitraum zusammen, wobei Daimler-Benz (auch ohne gesetzlichen Zwang) die Kurbelgehäuse geschlossen hatte. Das Bild zeigt auch die Systeme der Modelljahre 1975 bis 1978.

Modelljahr	1968/69	1970/71	1972/73	1974	1975/76/77	1978
Fahrzeug-Typ	200 D, 220 D/8	220 D/8	220 D	240 D	240 D, 300 D	240 D, 300 D, 300 CD, 300 SD Turbo-Diesel
Emissions-kontroll-System	nur geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung				Automatische Höhen-Korrektur. 240 D mit mechanischem Regler Entlastungs-Drossel (RFDV)	Einführung von Lochzapfen – Einspritzdüsen, sonst wie bisher
	200, 220, 240: 4-Zyl.: 3500 lbs (1588 kg) 300 D, CD, SD: 5-Zyl.: 4000 lbs (1814 kg)					
	Bis 1974 keine Emissions-kontrollgesetzgebung für Diesel-PKW					

**Bild III.4-16:** Zusammenfassung serienmäßiger Emissionskontrollmaßnahmen an Mercedes-Benz PKW mit Diesel-Motoren in den US-Modelljahren 1968 bis 1978, [723].

### 4.2.1 Modelljahre 1975 bis 1977



**Bild III. 4-17:** Entlastungsventil (RFDV = "Reverse Flow Damping Valve") für die Einspritzpumpe von Mercedes-Benz PKW Diesel-Motoren ab US-Modelljahr 1975 zur Vermeidung von Nachspritzern (und damit HC-Emissions-Anstieg), [725].

Mit der erstmaligen Einbeziehung von Pkw mit Diesel-Motoren in die 49-Staaten Emissionskontrollgesetzgebung ab Modelljahr 1975 erhielten Mercedes-Benz Diesel-Motoren zur Reduzierung ihrer HC-Emissionen eine relativ einfache Motormaßnahme, die aus der Einführung einer Entlastungsdrossel an der Einspritzpumpe bestand. Bild III.4-17 zeigt den Aufbau dieses Teiles, dessen Funktion bereits detailliert in Kap. 3.3.3.3 beschrieben wurde.

Im Modelljahr 1976 waren keine sonstigen Veränderungen am Emissionskontrollsystem erforderlich. Ab Mo-

delljahr 1977 erhielten der 4- und 5-Zyl.Motor (240 D und 300 D) eine automatische Höhenkorrekturereinrichtung, und beim 240 D erfolgte der Übergang von einem pneumatischen auf einen mechanischen Regler an der Einspritzpumpe. Die Systeme dieser ersten beiden Modelljahre mit Gesetzgebung für den Diesel-Motor zeigt Bild III.4-16.

## 4.2.2 Modelljahr 1978

In diesem Modelljahr erhielten beide Saugmotoren (240 D, 300 D) die schon in Kap. 3.3.3.5 (Bild III.3-11) beschriebenen Lochzapfen-Einspritzdüsen.

Als Neuheit im Modellprogramm erschien der 5-Zyl. Motor mit Abgasturbolader im 300 SD, dessen Emissionskontrollsystem aus Entlastungsdrösseln, Lochzapfendüsen und einer ladedruckabhängigen automatischen Höhenkorrektur bestand.

## 4.2.3 Modelljahr 1979

Wie Bild III.4-18 zeigt, bestanden die emissionsrelevanten Änderungen für dieses Modelljahr aus einer Modifikation der Einspritzdüsen und der ebenfalls das Emissionsverhalten beeinflussenden Einführung von Stabglühkerzen.

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Schwungmassen- klasse (lbs)	Zyl.- Zahl	Emissionskontrollsystem	
				Engl. Bezeichnung	Beschreibung
240 D 300 D 300 CD 300 TD	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3500 4000	L-4 L-5	Closed Crankcase Engine Modification	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1978. Geänderte Lochzapfendüsen (Zapfen gekürzt, Lochdurchmesser von 0,20 mm auf 0,15 mm verkleinert). Neu: 300 TD (Kombi); Motor wie 300 D.
300 SD Turbo-Diesel	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	4000	L-5	Closed Crankcase Engine Modification	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung; Abgasturbolader: wie 1978. Geänderte Lochzapfendüsen (wie Saugmotoren); Stabglühkerzen.

**Bild III.4-18:** Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Diesel-Motoren im US-Modelljahr 1979.

## 4.2.4 Modelljahr 1980

Der 2.4 l Saugmotor wurde als 50-Staaten Einheitsversion mit umfangreichen Motormaßnahmen verbessert wie aus Bild III.4-19 zu entnehmen ist. Bei den 3.0 l Saug- und Ladermotoren wurde aufgrund der Emissionskontrollgesetzgebungs-Situation eine Splitting zwischen einer 49-Staaten- und einer Kalifornien-Version erforderlich.

Für die 3.0 l Kalifornien-Motoren stellte dieses Modelljahr bezüglich der angewandten Emissionskontrolltechnologie einen Meilenstein dar: Erstmals erhielten die 5-Zyl. Saug-

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Äquivalente Testmasse (lbs)	Zyl.- Zahl	Engl. Bezeichnung	Emissionskontrollsystem	
					Engl. Bezeichnung	Beschreibung
240 D	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3500	L-4	Closed Crankcase Engine Modification		Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1979. Schnellvorglühanlage mit Stabglühkerzen; Leistungssteigerung mit Sternkolben, größerem Hub der Motor- nockenwelle und angepaßtem Steuerdiagramm; Geänderter Spritzversteller; Geänderter Förderverlauf der Einspritzpumpe.
300 D BUND 300 CD 300 TD	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3750 3875	L-5	Closed Crankcase Engine Modification		Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung mit Stufenblech in Ventildeckelhaube. Schnellvorglühanlage mit Stabglühkerzen; Leistungssteigerung mit Sternkolben, 6-Loch-Vorkammer, größerem Hub der Motorockenwelle und angepaßtem Steuerdiagramm; Geänderter Spritzversteller; Geänderter Förder- verlauf der Einspritzpumpe.
300 D KALIF. 300 CD 300 TD	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3750 3875	L-5	Unterschiede gegenüber BUND-Version Closed Crankcase Engine Modification/EGR		Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung mit Stufenblech und zusätzlich Zyktron-Ölabscheider. Abgasrückführungssystem mit Unterdrucksteuerung: AUS: $t_{kw} < 17^\circ\text{C}$ oder bei Vollast, EIN: $t_{kw} > 17^\circ\text{C}$ im Leerlauf oder lastabhängig über Unterdruck gesteuert von Null bis $\approx 4/5$ Vollast.
300 SD BUND Turbo- Diesel	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	4000	L-5	Closed Crankcase Engine Modification		Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie Saugmotor im BUND. Stabglühkerzen jetzt mit Schnellvorglühanlage; Leistungssteigerung durch Motorockenwelle mit geändertem Hub und angepaßtem Steuerdiagramm.
300 SD KALIF. Turbo- Diesel	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	4000	L-5	Unterschiede gegenüber BUND-Version Closed Crankcase Engine Modification/EGR		Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung mit Stufenblech und zusätzlich Zyktron-Ölabscheider. Abgasrückführungssystem mit Unterdrucksteuerung: AUS: $t_{kw} < 17^\circ\text{C}$ oder bei Leerlauf oder bei Vollast, EIN: $t_{kw} > 17^\circ\text{C}$ lastabhängig über Unterdruck gesteuert von Null bis $\approx 4/5$ Vollast.

**Bild III.4-19:** Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Diesel-Motoren im US-Modelljahr 1980.

und Lader-Motoren ein sogenanntes "add-on" Teil in Form der Abgasrückführung (EGR) zur Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen. Von ganz wesentlicher Bedeutung für eine Anwendbarkeit der EGR war hierbei der gleichzeitige Einsatz eines relativ aufwendigen Reinigungssystems für die Entlüftungs-Gase aus dem Kurbelgehäuse, wie es bereits in Kap. 3.1.2 (Bild III.3-3) beschrieben und begründet wurde.

4.2.5 Modelljahre 1981 und 1982

Der 2.4 l Motor erfuhr im Modelljahr 1981 weitere Verbesserungen auf dem Gebiet der "engine modification". Er erhielt ab Modelljahr 1982 ebenfalls eine Abgasrückführung, die wiederum mit der gleichzeitigen Einführung eines verbesserten Reinigungssystems für die Gase aus dem Kurbelgehäuse verbunden war.

Die 3.0 l Saug- und Ladermotoren erhielten ab Modelljahr 1981 die gleiche Abgasrückführung wie die 1980er Kalifornien-Modelle. Ab Modelljahr 1982 entfielen die 3.0 l Saugmotoren aus dem Verkaufsprogramm. Bild III.4-20 faßt die Details der beiden oben genannten Modelljahre zusammen.

Fahrzeug-Typ	Kraftstoff-System	Äquivalente Testmasse (lbs)	Zyl.-Zahl	Emissionskontrollsystem	
				Engl. Bezeichnung	Beschreibung
Modelljahr 1981 240 D	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3500	L-4	Closed Crankcase Engine Modification (EM)	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1980. Geänderte Kolbenbauart (neue Muldenform).
300 D 300 CD	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3750	L-5	Closed Crankcase EM/EGR	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1980 KALIF-Version. Abgasrückführungssystem mit Unterdrucksteuerung: wie 1980 KALIF-Version.
300 SD 300 TD Turbo-Diesel	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	4000	L-5	Closed Crankcase EM/EGR	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1980 KALIF-Version. Abgasrückführungssystem mit Unterdrucksteuerung: wie 1980 KALIF-Version.
Modelljahr 1982 240 D	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3500	L-4	Closed Crankcase EM/EGR	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung mit Zyklon-Ölabscheider und Stufenblech in Ventildeckelhaube. Unterdruckgesteuerte Abgasrückführung mit Drucksteuerklappe und Mischkanal: AUS: bei $t_{KW} < 17^{\circ}\text{C}$ oder $n_{\text{mol}} < 1200\text{ U/min}$ oder $V_{Fzg} > 47\text{ mph}$ oder bei Vollast, EIN: wenn $t_{KW} > 17^{\circ}\text{C}$ bei Teillast bis $\approx 4/5$ Vollast mit $n_{\text{mol}} > 1200\text{ U/min}$ und $V_{Fzg} < 47\text{ mph}$ .
300 D 300 CD Turbo-Diesel	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	3875	L-5	Closed Crankcase EM/EGR	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1981 im 300 SD-Kalif. Abgasrückführungssystem mit Unterdrucksteuerung: wie 1981 beim 300 SD-Kalif., jedoch geänderte Schaltbedingungen für EGR-System: AUS: $t_{KW} < 17^{\circ}\text{C}$ oder bei Leerlauf oder bei Vollast, EIN: $t_{KW} > 17^{\circ}\text{C}$ , lastabhängig über Unterdruck gesteuert von Null bis $\approx 4/5$ Vollast.
300 SD 300 TD Turbo-Diesel	Diesel-Einspritzung (BOSCH)	4000	L-5	Closed Crankcase EM/EGR	Geschlossene Kurbelgehäuse-Entlüftung: wie 1981 im 300 SD-Kalif. Abgasrückführungssystem mit Unterdrucksteuerung: wie 1981 beim 300 SD-Kalif., jedoch geänderte Schaltbedingungen für EGR-System: AUS: $t_{KW} < 17^{\circ}\text{C}$ oder bei Leerlauf oder bei Vollast, EIN: $t_{KW} > 17^{\circ}\text{C}$ , lastabhängig über Unterdruck gesteuert von Null bis $\approx 4/5$ Vollast.

EGR = Exhaust Gas Recirculation

Bild III.4-20: Serienmäßige Emissionskontrollsysteme an Mercedes-Benz PKW mit Diesel-Motoren in den US-Modelljahren 1981 und 1982.

5. Aufwand für Zertifizierungsverfahren

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der Aufwand zur Erfüllung der US-Emissionskontrollgesetzgebung mit Blickrichtung auf die hierfür zu entwickelnden und zu produzierenden technischen Lösungen veranschaulicht. Da jedoch die Bereitstellung der Technologie - so aufwendig dieser Prozeß auch gewesen sein mag - nur einen Teil des Gesamtaufwandes darstellt, muß das Bild durch eine Betrachtung der mit den entwickelten Systemen durchzuführenden Zulassungsprozeduren vervollständigt werden. Erst nach Überwindung weiterer enormer Schwierigkeiten im Zusammenhang mit diesen sogenannten



Zertifizierungsverfahren erhält der Automobilhersteller die Verkaufszulassung für sein Produkt, d. h. für das entsprechend dem geltenden Gesetz emissionskontrollierte Fahrzeug.

### 5.1 Historischer Rückblick

Der Erhalt der Verkaufszulassung für Pkw auf dem US-Markt hängt generell von der Zustimmung der Bundes-Umweltschutzbehörde EPA ab, die diese nach erfolgreichem Abschluß des (Emissions-)Zertifizierungsverfahrens in Form des "*certificate of conformity*" erteilt. Im Staat Kalifornien gelten Sonderbestimmungen, und die kalifornische Umweltschutzbehörde ARB erteilt eine eigene Verkaufszulassung in Form der "*executive order*", ohne die ein Automobilhersteller selbst bei Besitz des "*certificate of conformity*" der EPA in diesem Einzelstaat nicht verkaufen darf. Bevor (hauptsächlich am Beispiel der EPA-Zertifizierung) der aufwendige und risikoreiche Weg zum Erhalt der obengenannten entscheidenden Papiere aufgezeigt wird, sei ein kurzer historischer Rückblick auf die Entstehung dieser Zulassungsverfahren eingefügt.

#### 5.1.1 USA-Kalifornien

Kalifornien war der erste Staat, in dem die erfolgreiche Durchführung eines Zertifizierungsverfahrens für Emissionskontrollsysteme Vorbedingung für den Erhalt einer Verkaufszulassung war. Wie in Teil II, Bild II.6-4 gezeigt wurde, begannen die Automobilhersteller zwar schon ab Modelljahr 1961 auf freiwilliger Basis die in Kap. 2.1.1 näher beschriebenen emissionsverbessernden Maßnahmen einzuführen, jedoch erst ab Modelljahr 1964 wurde per Gesetz ein offizielles Zertifizierungsverfahren mit einem 12.000-Meilen Dauerhaltbarkeitsnachweis für die zum Serieneinsatz geplanten Systeme zur Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse gefordert {726}.

Das damalige Zertifizierungsverfahren erscheint vielleicht aus heutiger Sicht einfach und problemlos, da ihm noch sämtliche in den weiteren Kapiteln beschriebenen verfahrenerscherwerenden Randbedingungen fehlten. Trotzdem bedeutete dieser Beginn der Emissionskontrollgesetzgebung für viele Automobilhersteller eine technische Hürde, die nicht ohne Schwierigkeiten überwunden werden konnte.

Die auftretenden technischen Probleme veranlaßten die kalifornischen Behörden, von der im "Health and Safety Code" (Div. 20, Chapter 3, ab Section 24378) gegebenen Möglichkeit, bestimmte Ausnahmegenehmigungen zu erteilen, Gebrauch zu machen. Das CMVPCB konnte nach dieser Regelung Automobilhersteller von der ersten Emissionskontrollgesetzgebung (Kontrolle der Entlüftungsgase aus dem Kurbelgehäuse) freistellen, wenn {727}:

- für bestimmte Fahrzeuge keine zertifizierten Emissionskontrollsysteme vorhanden waren,
- die Fahrzeuge auch ohne Emissionskontrollsysteme die gesetzlichen Grenzwerte einhielten (Nachweise durch angemessene Tests erforderlich) oder
- es sich um Sonderfahrzeuge handelte (z. B. Straßenbau).

Neue und gebrauchte Fahrzeuge
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Fahrzeuge mit Diesel-Motor</li> <li>● Fahrzeuge mit 2-Takt-Motor</li> </ul>
Nur gebrauchte Fahrzeuge
<ul style="list-style-type: none"> <li>● alle Fahrzeuge, die vor Modelljahr 1955 hergestellt wurden</li> <li>● gebrauchte Fahrzeuge, für die es keine Systeme zur Begrenzung der Kurbelgehäuse-Entlüftung gab</li> <li>● alle Importfahrzeuge, die vor Modelljahr 1965 gebaut wurden</li> <li>● Fahrzeuge mit Einspritzmotoren</li> <li>● Fahrzeuge mit Lademotoren</li> <li>● Fahrzeuge mit Mehrfach-Vergaser-Motoren</li> </ul>

**Bild III.5-1:** Fahrzeugkategorien, die von der Forderung nach Einbau von Systemen zur Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse befreit waren (Kalifornien, 1964), nach [728].

Gemäß diesen Möglichkeiten erhielten z. B. die in Bild III. 5-1 genannten Fahrzeuge eine Befreiung von der Forderung nach Einbau von Systemen zur Kontrolle der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse.

Ab Modelljahr 1966 schloß die kalifornische Umweltschutzbehörde auch die Auspuffemissionen in ihre Gesetzgebung ein, und die entsprechenden Zertifizierungsfahrzeuge der Automobilhersteller mußten vor Erhalt einer Verkaufszulassung erstmals über 50.000 Meilen Fahrtstrecke den Nachweis der Dauerhaltbarkeit der eingebauten Abgasreinigungssysteme erbringen.

Die Fahrzeuge wurden während der in diesem Dauerlauf in 4.000 Meilen Abständen stattfindenden Emissionstests erstmals einem Fahrzyklus auf einem Rollenprüfstand unterzogen. Dieser 7-mode Zyklus (dessen Entstehungsgeschichte in Teil II, Kap. 6.5.2 näher beschrieben ist) war der erste Meilenstein einer weltweiten Entwicklung von Fahrprogrammen, die bis heute nicht beendet, sondern gerade in jüngster Zeit unter Gesichtspunkten wie Kraftstoffverbrauch, internationale Harmonisierung, Simulation veränderter Verkehrsverhältnisse etc. wieder Gegenstand intensiver Diskussionen geworden ist.

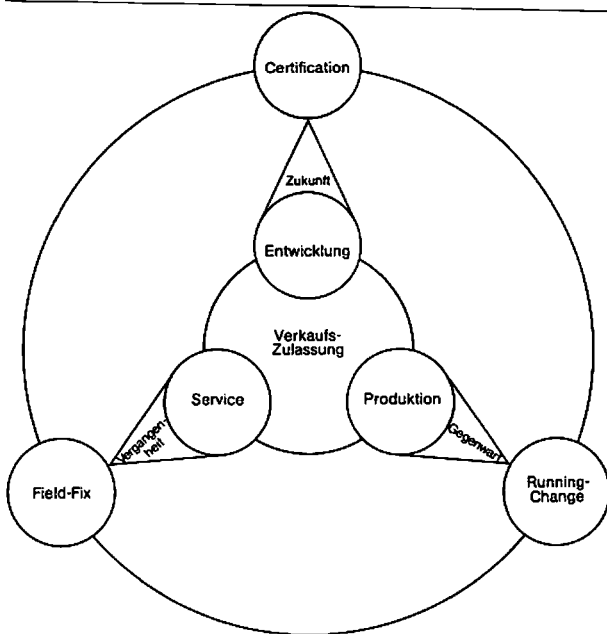
#### 5.1.2 USA - 49 Staaten

Ab Modelljahr 1968 übernahm die heutige US-EPA (damals noch: DHEW) zunächst weitgehend das von Kalifornien geschaffene Zertifizierungsverfahren für die eigenen Zulassungsarbeiten an allen zum Verkauf angebotenen Pkw mit Otto-Motoren. Seither hat sich dieses Zulassungsverfahren ständig im Umfang erhöht. Außer zusätzlichen oder verschärften Grenzwerten wurde mehrfach das Testverfahren modifiziert und erweitert, und mit den Meilensteinen Modelljahr 1972 und 1975 wurde auch das Fahrprogramm geändert. Aufgrund der "Clean Air Act Amendments" von 1977 wurde das noch nicht überschaubare Thema "Automobilabgas, Luftqualität und Gesundheit" Bestandteil des Zertifizierungsverfahrens.

An dieser Stelle sei ergänzend auf den historischen Werdegang der sogenannten "Statutory Standards" für die drei limitierten Schadstoffkomponenten im Abgas von Pkw mit Otto-Motoren ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  und  $\text{NO}_x$ ) sowie die Entstehungsgeschichte des Bundesfahrzyklus hingewiesen, die in Teil II, Kap. 6 separat und detailliert beschrieben sind.

#### 5.2 Aufgaben und Verantwortung des Zertifizierungsbereiches eines Automobilherstellers

Konnten die ersten emissionsbezogenen Vorschriften meist noch durch die mit den entsprechenden Entwicklungsaufgaben befaßten Techniker und Ingenieure des Automobilher-

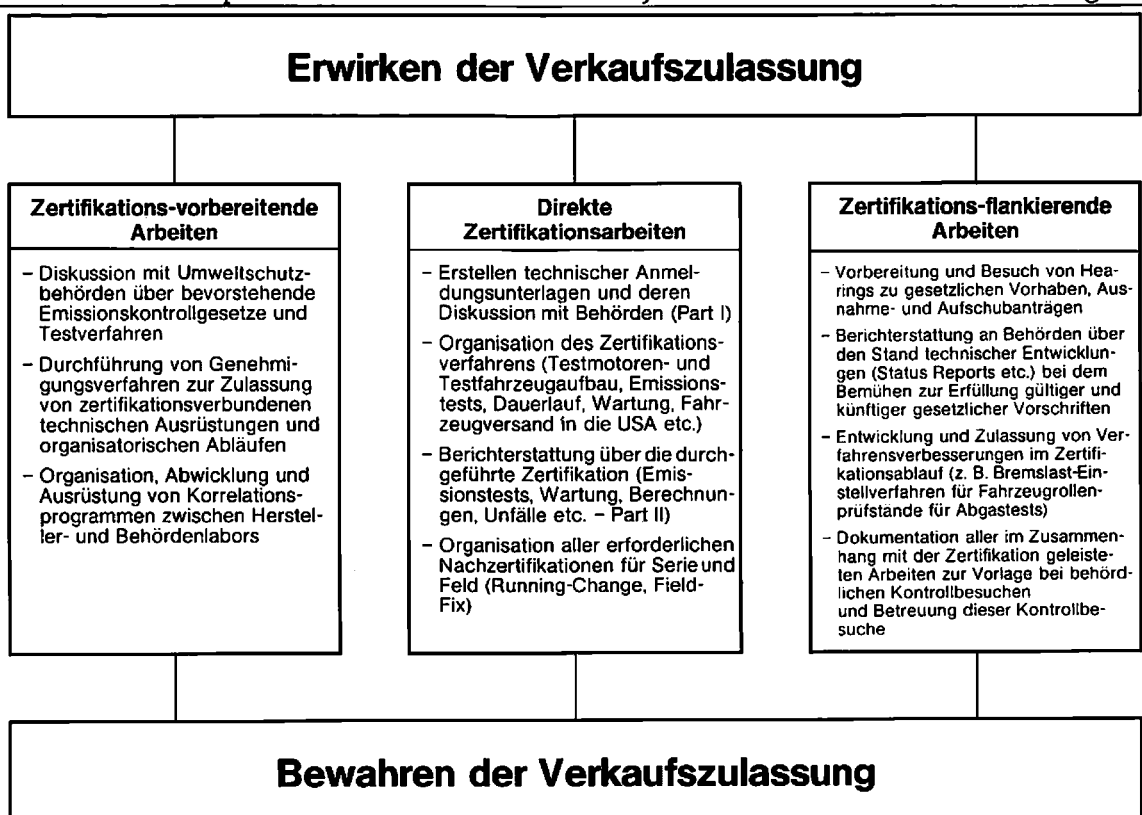


**Bild III.5-2:** Absicherung der US-Verkaufszulassung eines Automobilherstellers durch die drei Bereiche des Zertifizierungsverfahrens: Certification, Running-Change, Field-Fix.

stellers "nebenbei" bearbeitet werden, so ergab sich doch schon bald die Notwendigkeit, einen speziellen Bereich zur Bewältigung der in den USA seit etwa 15 Jahren progressiv gestiegenen Zertifizierungsaufgaben einzurichten. Ein solcher Zertifizierungsbereich hat prinzipiell die Aufgabe, sicherzustellen, daß Entwicklung, Produktion und Service von Fahrzeugen (die Emissionskontrollvorschriften unterliegen) im Einklang mit der relevanten Gesetzgebung stehen. Bild III. 5-2 veranschaulicht diese auf Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft bezogene Verantwortung des Zertifizierungsbereiches eines Automobilherstellers.

Die auf das Erwirken und Bewahren der Verkaufszulassung ausgerichteten Aktivitäten des Zertifizierungsbereiches werden ergänzt durch Arbeiten, die das eigentliche Zulassungsverfahren vorbereiten oder flankieren. Dieser Zusammenhang ist in Bild III. 5-3 dargestellt.

Die Erfüllung einer derart komplexen Aufgabenstellung setzt nicht nur umfassende Kenntnis technischer Fakten und Zusammenhänge zwecks fachlich qualifizierter Argumentation bei den anzusprechenden Behörden voraus, sondern fordert diese Fähigkeit in



**Bild III.5-3:** Aufgaben des Zertifikationsbereichs eines Automobilherstellers zur Sicherung der Verkaufszulassung

optimaler Synthese mit Engagement, Organisations- und Verhandlungsgeschick, juristischem Einfühlungs- und Beurteilungsvermögen, sorgfältiger und verantwortungsbewußter Arbeitsweise und nicht zuletzt wegen des internationalen Rahmens der gestellten Aufgaben angemessener Gewandheit in der englischen Sprache.

### 5.2.1 Erwirken der Verkaufszulassung

Die Arbeiten zur Beschaffung der Verkaufszulassung - wie auch die später noch behandelten Bemühungen zur Absicherung dieses Zertifikats - tangieren aufgrund der Vielschichtigkeit der dabei auftretenden Probleme und angesprochenen Themen nahezu alle Bereiche eines Automobilherstellers (wie z. B. Forschung, Konstruktion, Versuch, Produktion, Vertrieb, Kundendienst, Rechtswesen etc.). Da sich der tatsächliche Einsatz für die Zulassung eines Fahrzeuges nach den Emissionsstandards der USA - besonders bei einem Automobilhersteller mit weltweiten Absatzmärkten und entsprechend umfangreicher Produktpalette und Vertriebsorganisation - in Geldeinheiten nur schwer erfassen läßt, soll der sich schon aufgrund der obengenannten übergeordneten Zusammenhänge andeutende Aufwand anhand der nachfolgend diskutierten Schwerpunkte eines solchen Zertifizierungsverfahrens noch verdeutlicht werden.

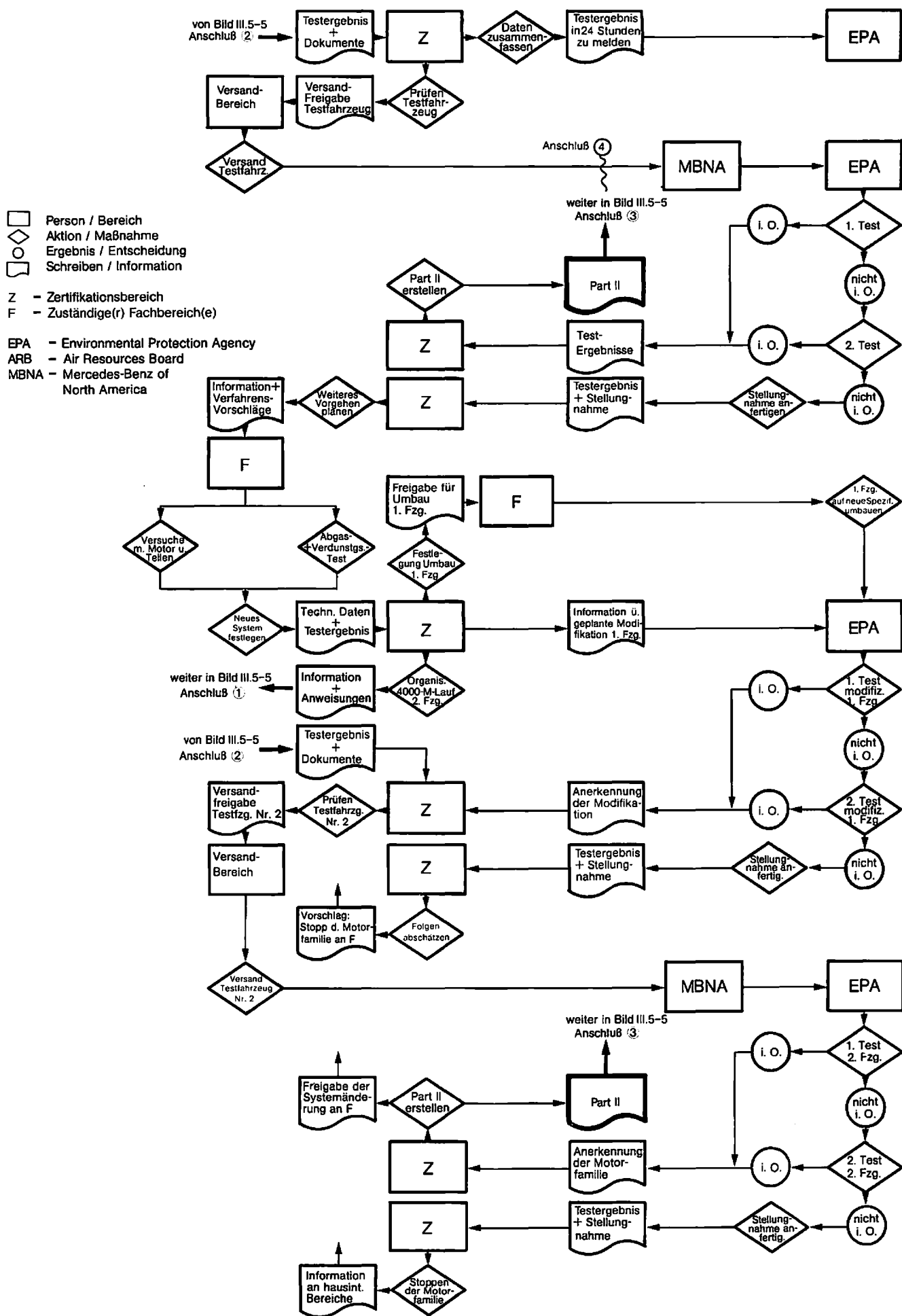
#### 5.2.1.1 Auswahl des Zertifizierungsverfahrens

Die Zertifizierungsverfahren (Neu- und Nachzertifikation) für die US-EPA bestehen prinzipiell aus den in Bild III. 5-4 gezeigten Abschnitten und Aktivitäten. Von der ersten 49-Staaten Zertifikation für Modelljahr 1968 bis einschließlich Modelljahr 1979 gab es keinerlei Alternativmöglichkeiten zu der behördlicherseits geforderten

Abschnitt des Zertifizierungs-Verfahrens		Abschnitt beinhaltet folgende Dokumente oder Aktivitäten
„Part I“	Neuzertifikation	<b>Anmeldung</b> des im jeweiligen Modelljahr zum Verkauf vorgeschlag enen Fahrzeug-Typenprogramms mit detaillierten technischen Informationen über Fahrzeug, Motor, Emissionskontrollsysteme, Testanlagen etc. sowie Angaben zur herstellerinternen Organisation; zu Kundendienst und Serienfertigung.
„Durability-Vehicles“		<b>Dauerlauf</b> mit Durchführung vorgeschriebener Wartungsarbeiten und Emissionstests zum Nachweis der Dauerhaltbarkeit des Verbundes aus Fahrzeug, Motor und Emissionskontrollsystemen, sowie zur Ermittlung des Verschlechterungsfaktors („deterioration factor“) dieser Kombination während der mit 50.000 Meilen (80 000 km) angesetzten normalen Lebensdauer („useful life“) eines Fahrzeuges.
„Emission Vehicles“		<b>Emissionstest</b> an stabilisiertem, d. h. 4000 Meilen (6400 km) eingelaufenen Fahrzeug beim Hersteller und anschließend bei der Behörde. Auf das bei der Behörde an diesem Fahrzeug ermittelte Testergebnis wird der im 50.000 Meilen-Lauf gefundene Verschlechterungsfaktor angewendet, bevor das Testresultat mit den gültigen Emissionsgrenzwerten verglichen wird. Im Gegensatz zum 50.000 Meilen-Fahrzeug muß das Emissionsfahrzeug weitestgehend mit der bevorstehenden Serienausführung identisch sein.
„Part II“		<b>Berichterstattung</b> über alle im Rahmen des Zertifizierungsverfahrens beim Automobilhersteller oder den Behörden durchgeführten Arbeiten wie z. B. Dauerläufe, Wartungsarbeiten, Emissionstests, Transport, Unfälle und Reparaturen, Verschlechterungsfaktor-Berechnungen etc.)
„Running-Change“	Nachzertifikation	<b>Änderungs-Genehmigung</b> für die laufende Produktion, z. B. für Einstellvorschriften, Verfahrensabläufe, technische Änderungen an Fahrzeug, Motor oder Emissionskontrollsystem, die Einfluß auf das Emissionsniveau oder das Emissionslangzeitverhalten des zertifizierten Systems haben können.
„Field-Fix“		<b>Änderungs-Genehmigung</b> für Fahrzeuge, die die Serienproduktion bereits verlassen haben (Fahrzeuge im Feld, auch solche länger zurückliegender Modelljahre) z. B. für Einstellvorschriften, Verfahrensabläufe, technische Änderungen am Fahrzeug, Motor oder Emissionskontrollsystem, die Einfluß auf das Emissionsniveau oder das Emissionslangzeitverhalten des zertifizierten Systems haben können.

**Bild III.5-4:** Hauptabschnitte einer Neuzertifikation (Zertifikats-Erwerb) und die beiden Möglichkeiten einer Nachzertifikation (Zertifikats-Bewahrung)

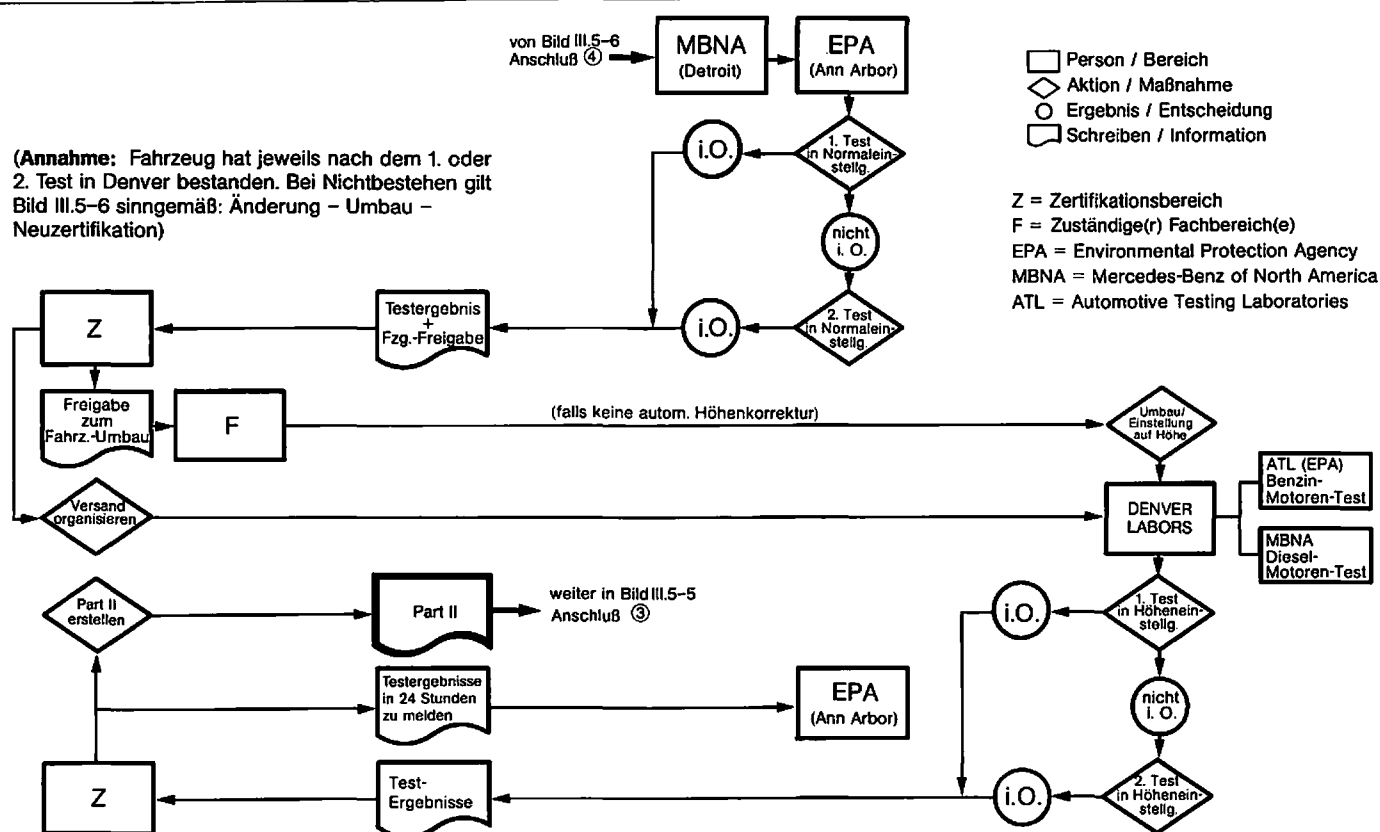




Zertifizierungsart. Die US-EPA schrieb in dieser sogenannten "Full Certification Review" (FCR) jeden einzelnen Schritt der Zulassungsprozedur vor und verlangte laufend die Einreichung von Material zur Bestätigung und Kontrolle der Arbeiten des Automobilherstellers. Alle wichtigen Entscheidungen, wie z. B. Anerkennung der technischen Anmeldungsunterlagen, Aufstellung der Testflotte, Freigabe von Emissionstests etc. wurden von der Behörde getroffen. Diese Vorgehensweise bot einerseits den großen Vorteil, daß der Hersteller aufgrund der Übernahme der Entscheidungsverantwortung durch die Behörde verfahrenstechnisch abgesichert war, andererseits ergaben sich durch Personalknappheit oder Überlastung bei der EPA oft erhebliche Verzögerungen, die selbst durch größten Einsatz seitens des Automobilherstellers nicht ausgeglichen werden konnten.

Anhand theoretischer (d. h. Sonderfälle und Störungen ausschließender) Ablaufschemata seien die Interaktionen der beteiligten Bereiche für ein FCR-Zulassungsverfahren am Beispiel der Daimler-Benz AG veranschaulicht. In Bild III. 5-5 werden eine FCR ohne und in Bild III. 5-6 mit Abschlußtest bei der US-EPA dargestellt. Hierbei wurde von einer zeitlichen parallelen Bearbeitung der technischen Anmeldungs-Unterlagen (Part I) bei der kalifornischen Behörde (ARB) - ohne Zusatzforderungen dieser Behörde - ausgegangen. Zur Darstellung des Verfahrens mit behördlichem Nachtest wurde eine Fahrzeugüberprüfung bei der US-EPA zugrundegelegt, der Ablauf gilt aber sinngemäß auch im Fall einer Nachmessung durch das kalifornische ARB.

In Bild III. 5-7 wird der zusätzliche Aufwand bei Zulassungsverfahren mit "Höhenzertifizierung" gezeigt. Dieses Schema war z. B. im Modelljahr 1977 zusätzlich zu dem in



**Bild III.5-7:** Theoretischer Ablauf eines Zertifizierungsverfahrens in USA mit Höhenzertifizierung (DENVER) im Anschluß an Meereshöhenzertifizierung (ANN ARBOR) am Beispiel Daimler-Benz.

Bild III. 5-5 gezeigten Ablauf erforderlich, als die Zertifizierungsfahrzeuge das Einhalten der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte auch unter Höhenbedingungen durch einen behördlichen Nachtest in den USA beweisen mußten.

Ab Modelljahr 1980 wurde die sogenannte "Limited Certification Review" (LCR) eingeführt, die für den Automobilhersteller durch zusätzlich auszufüllende Fragebögen ("questionnaires") einen erhöhten Zeitaufwand bedeutete, die aber durch diese Fragebögen die von der Behörde benötigten Entscheidungen kurzfristiger als bei der zuvor erwähnten FCR ermöglichen sollte. Das Verfahren war als Übergangslösung gedacht, um die Automobilindustrie und die EPA an eine Umschichtung der Verantwortung zu gewöhnen und die Grenzen der geteilten Entscheidungsfindung abzutasten. Es hatte ab Modelljahr 1981 in dieser Funktion ausgedient {729}.

Gleichzeitig mit der LCR wurde auch die Alternative der sogenannten "abbreviated certification review" (ACR) zur Auswahl gestellt, wodurch eine Wende in der Zusammenarbeit zwischen Automobilhersteller und Behörde eingeleitet wurde: erstmalig übernahm der Automobilhersteller alle während der mehrmonatigen Zulassungsprozedur erforderlich werdenden Entscheidungen und das damit verbundene Risiko. Da sich mit der ACR (bei einwandfreiem Funktionieren dieses Systems) ein Verfahren anbot, das eine echte Zeitersparnis mit sich bringen konnte (da nicht mehr auf behördliche Entscheidungen gewartet werden mußte), wurde diese Methode z. B. bei Daimler-Benz sofort (wenn auch mit der gebotenen Vorsicht) angewendet {729}.

Die am Anfang und während einer nach der ACR durchgeführten Zertifizierung eingesparte Zeit kann jedoch sehr leicht am Ende der Zulassungsaktivitäten, d. h. kurz vor dem

CERTIFICATION REVIEW PROCESS				
	I: Full	II: Limited	III: Abbreviated	IV: Modified Abbreviated
Gültigkeit	bis einschließlich Modelljahr 1979 allein gültiges Verfahren	neu eingeführt ab Modelljahr 1980, ab Modelljahr 1981 wieder entfallen	neu eingeführt ab Modelljahr 1980	neu eingeführt ab Modelljahr 1981 (Kombination aus II und III)
Wesentliches Merkmal	Markante Entscheidungen („Key Issues“) werden von der Behörde gefällt	Markante Entscheidungen („Key Issues“) werden von der Behörde gefällt	Der Automobilhersteller fällt grundsätzlich alle Entscheidungen bis zur Beantragung des Zertifikats selbst und auf eigenes Risiko. Anfragen bei der Behörde sind möglich, jedoch unbestimmter Grad der hierdurch möglichen Absicherung.	Der Automobilhersteller fällt grundsätzlich alle Entscheidungen bis zur Beantragung des Zertifikats selbst und auf eigenes Risiko. Anfragen bei der Behörde sind möglich, jedoch unbestimmter Grad der hierdurch möglichen Absicherung. Erstmaliges Einbeziehen computerisierter Überwachungsmöglichkeit des jeweiligen Zertifizierungsstandes beim Automobilhersteller durch die Behörde.
Vorteil	Der Zertifizierungsablauf wird sukzessive durch behördliche Entscheidungen abgesichert.	Der Zertifizierungsablauf wird sukzessive durch behördliche Entscheidungen abgesichert. Der Zeitaufwand für diese Entscheidungen ist potentiell geringer als bei I.	Der Zeitaufwand für den Zertifizierungsablauf ist bis zur Beantragung des Zertifikats potentiell geringer als bei I und II.	Der Zeitaufwand für den Zertifizierungsablauf ist bis zur Beantragung des Zertifikats potentiell geringer als bei I und II und nicht größer als bei III.
Nachteil	Erheblicher Zeitaufwand bis behördliche Entscheidungen (aufgrund der vom Automobilhersteller eingereichten Unterlagen) gefällt sind. Dadurch Verzögerungen gegenüber einem zeitlich optimalen Zertifizierungsablauf möglich.	Mehraufwand für den Automobilhersteller, der zusätzlich zum bisherigen Umfang der Anmeldeunterlagen und Dokumentationspflicht von der Behörde spezifizierte Fragebögen („Questionnaires“) zu beantworten hat, die dann zur behördlichen Entscheidungsfindung verwendet werden. Erhöhtes Risiko für den Automobilhersteller, da er selbst verantwortlich ist, daß seine potentiellen Probleme (die er selbst rechtzeitig erkennen muß) in den Fragebögen und durch Zusatzunterlagen sicher abgedeckt werden.	Erhebliches Risiko für den Automobilhersteller, der grundsätzlich bis zur Beantragung des Zertifikats keinerlei Absicherung hat, daß seine eigenverantwortlich getroffenen Entscheidungen während des Zertifizierungsablaufs (einschließlich der von ihm selbst entschiedenen „Key Issues“) richtig und damit seine mehrmonatigen Bemühungen erfolgreich waren.	Erhebliches Risiko für den Automobilhersteller, der grundsätzlich bis zur Beantragung des Zertifikats keinerlei Absicherung hat, daß seine eigenverantwortlich getroffenen Entscheidungen während des Zertifizierungsablaufs (einschließlich der von ihm selbst entschiedenen „Key Issues“) richtig und damit seine mehrmonatigen Bemühungen erfolgreich waren.

Bild III.5-8: Charakterisierung der von der US-EPA und dem Automobilhersteller angewendeten Zertifizierungs-Verfahren.



durch den geplanten Serienanlauf fest vorgegebenen Termin der Zertifizierungserteilung wieder verlorengehen, da die Behörde zu diesem Zeitpunkt erstmals sämtliche vor, während und nach der Zertifizierung vom Automobilhersteller zusammengetragenen Unterlagen erhält und durchsieht. Es besteht durchaus die Möglichkeit, daß z. B. bei einer jetzt erst erkennbar werdenden abweichenden Meinung der Behörde zu einer vom Automobilhersteller getroffenen Entscheidung der Zertifikatserhalt erheblich verzögert oder auch ganz unmöglich wird.

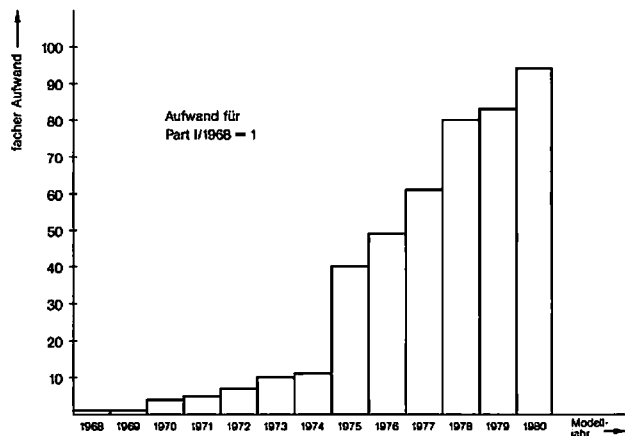
Ab Modelljahr 1981 führte die EPA dann die sogenannte "modified abbreviated certification review" (MACR) ein. Die Behörde ist bei dieser Kombination aus LCR und ACR auch während der laufenden Zulassung wieder an den jeweiligen Zertifizierungs- und Entscheidungsstand des Automobilherstellers angeschlossen, was durch routinemäßig einzureichende Testergebnisse erreicht wird. Die Behörde wollte durch diesen Überblick unter anderem die Möglichkeit zu Revisionen (z. B. durch Anforderung von Zertifizierungsunterlagen, die alle Schritte dokumentieren, die bis zum letzten Testergebnis durchgeführt worden sind) oder auch zur Einplanung von Kontrollbesuchen beim Hersteller haben.

In Bild III. 5-8 sind noch einmal die heute möglichen Zertifizierungs-Alternativen zusammengestellt und charakterisiert. Hierbei ist zu betonen, daß ein Automobilhersteller, der kein erhöhtes Risiko eingehen will und dafür lieber bei dem eingespielten aber zeitaufwendigeren Standardverfahren bleiben möchte, nach wie vor bei der EPA den Antrag stellen kann, nach der FCR zu zertifizieren. Für alle in diesem Bild beschriebenen Verfahren gilt, daß nur bei termingerechter, gesetzeskonformer Erfüllung der dargestellten organisatorischen und technischen Auflagen sichergestellt ist, daß die Verkaufszulassungen rechtzeitig zum vorgegebenen Verkaufsbeginn der durch die Zertifizierungsfahrzeuge repräsentierten Serienfahrzeuge von den Behörden ausgestellt werden.

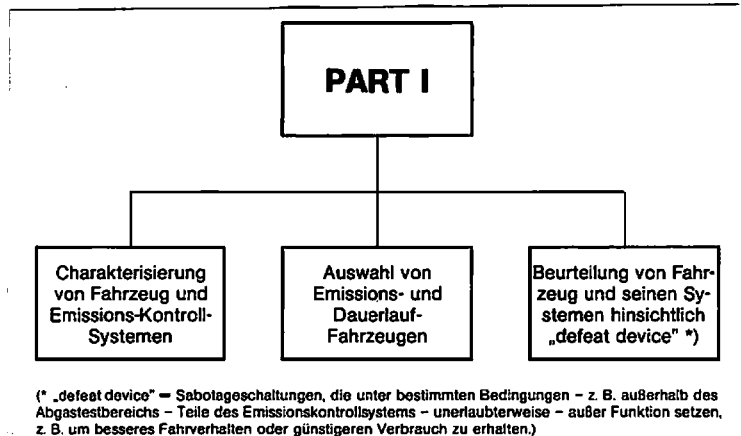
#### 5.2.1.2 Erstellung von technischen Anmeldungs-Unterlagen: "Part I"

Wie schon aus Bild III. 5-4 entnommen werden konnte, besteht das Zertifizierungsverfahren zu einem erheblichen Teil aus der Erstellung von Dokumenten, Statements, Selbst-Zertifikaten für Teilumfänge, technischen Beschreibungen etc. In diesem Zusammenhang stellt die bei einem FCR-Zulassungsverfahren an die Umweltschutzbehörde einzureichende "technische Anmeldung", bekannt als "Part I", einen kritischen Meilenstein dar. Der Umfang dieses Dokumentes war seit Beginn der Emissionskontrollgesetzgebung ständiger Progression unterworfen, um "dem durch neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Emissionskontrolle wachsenden Informationsbedürfnis zu genügen" {730}. Die daraus resultierende kontinuierliche Aufwandserhöhung ist in Bild III. 5-9 grafisch dargestellt. Der Part I-Antrag soll hierbei laut US-EPA die drei in Bild III. 5-10 gezeigten Funktionen erfüllen.

Beginnend mit Modelljahr 1980 führte die US-EPA gravierende Änderungen im Aufbau und



**Bild III.5-9:** Aufwandserhöhung für den technischen Anmeldungsumfang („Part I“) von Modelljahr 1968 bis 1980.

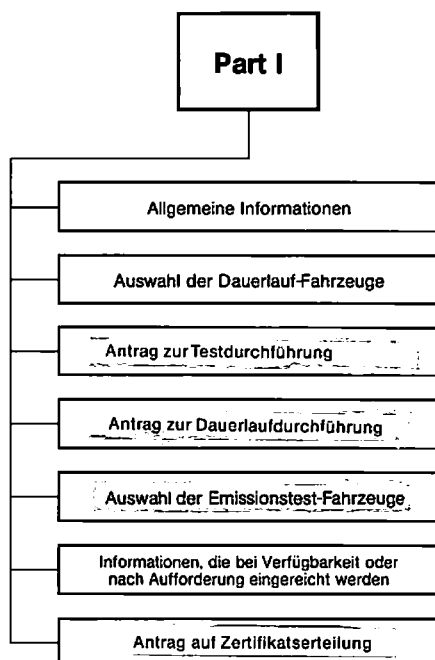


**Bild III.5-10:** Die drei Hauptfunktionen der Part-I-Anmeldung.

in der Bearbeitung dieses Part I ein. Die Änderungen beinhalteten das "indexing" d. h. eine numerische Codierung aller Anmeldungsumfänge zwecks EDV-Erfassung und -Verarbeitung, ein "referencing", d. h. die Möglichkeit, auf früher eingereichte Unterlagen Bezug zu nehmen, und schließlich ein "sequencing", das wegen seiner Bedeutung für Terminplanungen näher erläutert werden soll.

War es bis einschließlich Modelljahr 1979 noch erforderlich, den gesamten Anmeldungsumfang als geschlossenes Paket an die Behörde einzureichen, so konnte Part I ab Modelljahr 1980 (bei der FCR) erstmals in einzelnen, in sich abgeschlossenen Folgen, zur Bearbeitung abgegeben werden. In Bild III. 5-11 sind die sieben möglichen Einzelgruppen dieses "sequencing" dargestellt.

Für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren sowie für jede mit der Zertifizierung angestrebte Kombination der Emissionsstandards sind getrennte Part I-Anmeldungen einzureichen. Jede dem Hersteller bekannt werdende Änderung gegenüber den abgegebenen Unterlagen ist nachzumelden. Spätestens



**Bild III.5-11:** Die ab Modelljahr 1980 mögliche Einteilung von Part I in 7 Einzelblöcke („sequencing blocks“), die nacheinander an die Behörde eingereicht werden können

30 Tage bevor der Hersteller das Zertifikat zu erhalten wünscht, müssen die auf neuesten Stand gebrachten Zertifizierungsunterlagen zusammen mit der Bitte um Zertifizierung ("request for certificate") der Behörde übergeben werden. Da in jeder Zertifizierung stets die Möglichkeit besteht, daß die EPA nach Durchsicht dieser kompletten Unterlagen 4.000 Meilen-Fahrzeuge zu Bestätigungstests nachfordert, sind die obengenannten 30 Tage ein rein theoretischer Zeitraum. In der Praxis muß hier mit 70 Tagen gerechnet werden. In Bild III. 5-12 ist der in Part I enthaltene enorme Informationsumfang anhand des ab Modelljahr 1980 gültigen Index-Systems zusammengefaßt.

Index	Information	Index	Information	Index	Information
01 00 00 00	Kommunikation	03	Abhilfe-Vorschlagsliste	01 00	Zündzeitpunktverstellung
01 00 00	Organisationsplan des Herstellers	02 00 00	Empfohlene Kundenwartung	02 00	Temperaturschalter
02 00 00	Postalische Anschrift	01 00	Wartungs-Pläne	13 00 00	Allgemeine Spezifikationen
01 00	EPA-Verbindungsperson (schriftlich)	02 00	Unterschiede	01 00	Fahrzeug-Frontfläche
02 00	Zertifikatsangaben	03 00	Wartungskosten	02 00	Bremslasteneinstellung
03 00	Telex- und Telekopier-Information	03 00 00	Spezialwerkzeuge	03 00	Fahrzeug-Modellidentifikation
03 00 00	EPA-Verhandlungspartner (verbal)	04 00 00	Schulungsprogramme	04 00	Motorfamilien-Identifikation
04 00 00	Angestrebte Grenzwerte	05 00 00	Kundendienst-Literatur	14 00 00	Warnsysteme
02 00 00 00	Vertrauliche Informationen	01 00	Werkstatthandbücher	15 00 00	Anderes
03 00 00 00	Kraft- und Schmierstoffe	02 00	Tabellenbücher (technische Daten)	09 00 00 00	Verdunstungs-Familien Beschreibung
01 00 00	Testkraftstoff-Spezifikationen	03 00	Betriebsanleitungen	10 00 00 00	Motor-Familien Beschreibung
01 00	Bleihaltiger Kraftstoff	04 00	Kundendienst-Mitteilungen	11 00 00 00	Start- und Schaltvorschriften
02 00	Bleifreier Kraftstoff	06 00 00	Emissionskontrollsystem - Garantie-Erklärung	01 00 00	Startvorschriften (Motor)
03 00	Diesel-Kraftstoff			02 00 00	Schaltvorschriften (Gangwechsel)
02 00 00	Dauerlauf-Kraftstoff-Spezifikation	07 00 00 00	Emissions-Schild	12 00 00 00	Testfahrzeug-Angaben
01 00	Bleihaltiger Kraftstoff	01 00 00	Muster und Anbringungsort	01 00 00	Fahrzeug-Buch
02 00	Bleifreier Kraftstoff	02 00 00	EPA-Genehmigung	01 00	Fahrzeug-Identifikation
03 00	Diesel-Kraftstoff	03 00 00	Einstellvorschriften mit Toleranzen	02 00	Fahrzeug-Daten
03 00 00	Empfohlene Kraftstoff-Spezifikation	08 00 00 00	Allgemeine Beschreibung	03 00	Kalibrierung
01 00	Bleihaltiger Kraftstoff	01 00 00	Kraftstoffsystem	04 00	Bezugsliste/Fahrzeug-Logblatt
02 00	Bleifreier Kraftstoff	01 00	Vergaser	02 00 00	Berichte und Berechnungen
03 00	Diesel-Kraftstoff	02 00	Einspritzung	01 00	Ingenieur-Berichte
04 00 00	Schmierstoff-Spezifikationen	03 00	Geschlossener Regelkreis	02 00	Verschlechterungsfaktorberechnung
04 00 00 00	Anlagen und Ausrüstung	02 00 00	Zündsystem	13 00 00 00	Dauerhaltbarkeitsprogramm und Verdunstungskontrollsystem
01 00 00	Anlagen	01 00	Zündverteiler	01 00 00	Testprogramm-Beschreibung
01 00	Anlagen in etwa Meereshöhe	02 00	Zündkerzen	02 00 00	Verfahren
02 00	Anlagen in Höhenlage	03 00 00	Kurbelgehäusegas-Kontrollsystem	01 00	Fahrzeugversuche
03 00	Zweitlabors	04 00 00	Kühlsystem	02 00	Prüfstandsversuche
04 00	Dauerlauf-Anlagen	05 00 00	Motor	03 00	Verschlechterungsfaktorberechnung
02 00 00	Ausrüstung und Instrumentierung	01 00	Ansaugkrümmer	03 00 00	Testergebnisse
05 00 00 00	Testverfahren	02 00	Zylinderköpfe	01 00	Fahrzeug-Beschreibungen
01 00 00	Emissionstests	03 00	Brennräume	02 00	Fahrzeug-Logblätter
02 00 00	Dauerlauf	06 00 00	Luftteilaß-Systeme	03 00	Prüfstands-Logblätter
03 00 00	Bremslastermittlung	07 00 00	Abgas-Anlagen	04 00	Zusammenfassung Verschlechterungsfaktorberechnungen
01 00	~ nach Frontfläche	01 00	Auspuffkrümmer	14 00 00 00	Planung für Testablauf
02 00	~ nach Ausrollversuch	02 00	Auspuff-Maße	15 00 00 00	Korrekturen
03 00	~ nach anderen Verfahren (z. B. Drehmoment-Methode)	03 00	Auspuff-Klappen	16 00 00 00	Bitte um Zertifikatserteilung
06 00 00 00	Wartung und Garantie	08 00 00	Katalysator	01 00 00	Erfüllungs-Statement
01 00 00	Testfahrzeug-Wartung	09 00 00	Abgasrückführung	02 00 00	Zusammenfassung der Testergebnisse
01 00	Planmäßige Wartung	10 00 00	Luftreinblasung	03 00 00	Angaben auf dem Zertifikat
01	Wartungspläne	01 00	Luftpumpe	04 00 00	Angaben zu Serienmotoren
02	Wartungsverfahren	02 00	Ventile	01 00	Teilenummern
02 00	Außerplanmäßige Wartung	11 00 00	Verdunstungs-Kontrollsystem	02 00	Produktionstoleranzen
01	Diagnoseverfahren	01 00	Kraftstofftank		
02	Fahrbarkeits-Test	02 00	Tankdeckel		
		03 00	Speicher-Systeme		
		12 00 00	Ventile und Schalter		

**Bild III.5-12:** Informationsumfang der Zertifizierungsunterlagen (Part I und Part II), dargestellt anhand des ab Modelljahr 1980 gültigen Index-Systems, [731].

### 5.2.1.3 Erstellung von Überprüfungsunterlagen während des Zertifizierungsverfahrens:

#### "Questionnaires"

Questionnaire Nr.	Fragen zum Thema
1	Null-Meilen Unterlagen
2	Bestimmung der Dauerlauf-Fahrzeuge
3	Kraftstoffe für die Meilenakkumulation
4	Schmierstoffe
5	Außerplanmäßige Wartung
6	Abgastest-Kraftstoffe
7	Änderungen in den Anmeldungsunterlagen
8	Starten und Schalten des Fahrzeugs
9	Testeinrichtungen und -verfahren
10	Planmäßige Wartung für Testfahrzeuge
11	Freiluftrollenprüfstände zur Meilenakkumulation
12	Verbotene Schaltungen („defeat device“)

**Bild III.5-13:** Themen der ab Modelljahr 1980 zur behördlichen Überprüfung des beim Automobilhersteller abgewickelten Zertifizierungsverfahrens auszufüllenden und an die Behörde einzureichenden Fragebögen („questionnaires“).

Die "questionnaires" dienen dem EPA-Zertifizierungsteam beim LCR-Verfahren zur Überprüfung der Vollständigkeit der an die Behörde eingereichten Unterlagen und der korrekten Vorgehensweise des zertifizierenden Automobilherstellers (in fachlicher und zeitlicher Hinsicht). Sie werden (bei der LCR) als behördeninternes Hilfsmittel verwendet.

Beim MACR-Verfahren muß der Automobilhersteller die Überprüfung seiner jeweils bereits vollzogenen Zertifizierungsschritte durch Ausfüllen und Unterzeichnen der "questionnaires" dokumentieren. Diese Unterlagen sind für behördliche Kontrollen bereitzuhalten und werden Bestandteil des bei Beantragung eines Zertifikats an die Behörde einzureichenden Antrags.

Basierend auf dem Status von Modelljahr 1981 existieren diese "questionnaires" zu den in Bild III. 5-13 genannten Themen. Die Fragebögen werden zu unterschiedlichen Zeiten während des Zertifizierungsablaufes fällig, um die einzelnen Schritte zu dokumentieren und abzudecken (so wird z. B. Fragebogen Nr. 1 im obengenannten Bild nach Durchführung des Null-Meilen-Tests fällig etc.).

#### 5.2.1.4 Erstellung von Berichten über Störungen im Zertifizierungsverfahren:

##### "Engineering Reports"

Diese Berichte werden während der Zertifikation z. B. im Fall von außerplanmäßig durchzuführenden Wartungsarbeiten an Dauerlauf- oder Emissionstestfahrzeugen oder bei Unfällen dieser Fahrzeuge erforderlich. Sie sind eine oft langwierige, aber einzige Möglichkeit für einen Nicht-US Automobilhersteller, z. B. bei Unfällen von Dauerlauffahrzeugen mit der Behörde bezüglich einer Entscheidung über Fortsetzung der Meilenakkumulation oder Fahrzeugneuaufbau (mit dem entsprechenden Zeitverlust für die



Gesamt-Zertifikation) zu verhandeln. Für US-Hersteller kann diese Entscheidung sehr schnell durch einen Besichtigungstermin (Fahrzeit von der Behörde in Ann Arbor bis zum Hersteller in Detroit etwa 1 Stunde) erreicht werden.

Bild III. 5-14 zeigt ein während der Modelljahr-1977-Zertifikation durch Ermüdung des Dauerlauffahrers auf der Einfahrbahn von Daimler-Benz verunfalltes Fahrzeug. Trotz

**Bild III.5-14:** Unfall des Zertifikationsfahrzeugs durch Ermüdung des Fahrers während des 50 000-Meilen-Abnahmelaufs auf der Straße.

sofortiger und detaillierter Berichterstattung an die EPA mittels eines "engineering report" stimmte die Behörde erst nach weiteren Diskussionen (die insgesamt fast 3 Wochen in Anspruch nahmen) der Reparatur und Wiederaufnahme des Dauerlaufes zu. Derartige deutliche Zeitverluste durch die Tatsache, daß fast in jedem Modelljahr ein Zertifizierungsfahrzeug bei der Meilenakkumulation auf der Straße verunglückte (1975/76/77 je 1 Unfall, 1978/79 kein Dauerlauf, 1980 2 Unfälle) und die langwierige Entscheidungsfindung bei der Behörde in solchen Fällen waren mit Hauptgründe für die bei Daimler-Benz inzwischen weitgehend erfolgte Übertragung der Meilenakkumulation auf automatische Rollenprüfstände.

#### 5.2.1.5 Erstellung der technischen Abschlußmeldung einer Zertifikation: "Part II"

Die technische Abschlußmeldung eines beim Automobilhersteller durchgeführten Zertifizierungsverfahrens nach der FCR-Methode (bis einschließlich Modelljahr 1979) ist als sogenanntes "Part II" bekannt. Es enthält die in Bild III.5-15 zusammengestellten Informationen und muß so rechtzeitig an die Behörde abgegeben werden, daß genügend Bearbeitungszeit zwischen Part II-Einreichung und gewünschtem Zertifikationserhalt liegt. Im Falle einer FCR sind normalerweise 30 Tage für die behördliche

Section	Inhalt
I	Name und Anschrift des Automobilherstellers und des Zertifikats-empfängers
II	<p>„Statements of Compliance“</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Fzg. emittiert keine giftigen Stoffe [40 CFR, § 86.079-5 (b) (1) und (2)]</li> <li>● Fzg. verursacht keine „unsafe conditions“ [dto.]</li> <li>● Fzg. nach den vorgeschriebenen Prozeduren getestet [40 CFR, § 86.078-23]</li> <li>● Fzg. verursacht kein „health risk“ [Sec. 206 (a) (3) des Clean Air Act]</li> </ul>
III	<p>Testfahrzeug-Dokumente (für 50 000- und 4000-Meilen-Fahrzeuge)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Übersicht Abgastests („vehicle log sheet“); Abgas- u. Verdunstungstests</li> <li>● Übersicht Wartungsarbeiten („maintenance log sheet“)</li> <li>● Verschlechterungsfaktor-Berechnungen</li> <li>● Übersicht Kalibrierkurven der Teile des Emissionskontroll- und Kraftstoffsystems</li> <li>● Liste mit Teile-Nummern aller emissionsrelevanten Bauteile (Grundlage für alle Arten von Nachprüfungen wie z. B.: „in-use surveillance“; „assembly line control (SEA) etc.</li> <li>● Übersicht der herstellereigenen Qualitätskontrollmaßnahmen (für Bauteile, Motor, Fahrzeug) in der Serienproduktion mit Statement, daß Serienfahrzeuge und Zertifizierungs [-Prototypenfahrzeuge „... in all material respects“ identisch sind</li> </ul>
IV	Wartungsarbeiten und -vorschriften
V	Zusammenstellung der „Abgasschilder“, die am Fahrzeug anzubringen sind
VI	Zusatzinformationen, wie z. B. vollständige Angaben über alle erforderlichen Spezialwerkzeuge (Beschreibung, Anwendung, Begründung)

**Bild III.5-15: Inhalt von „Part II“**

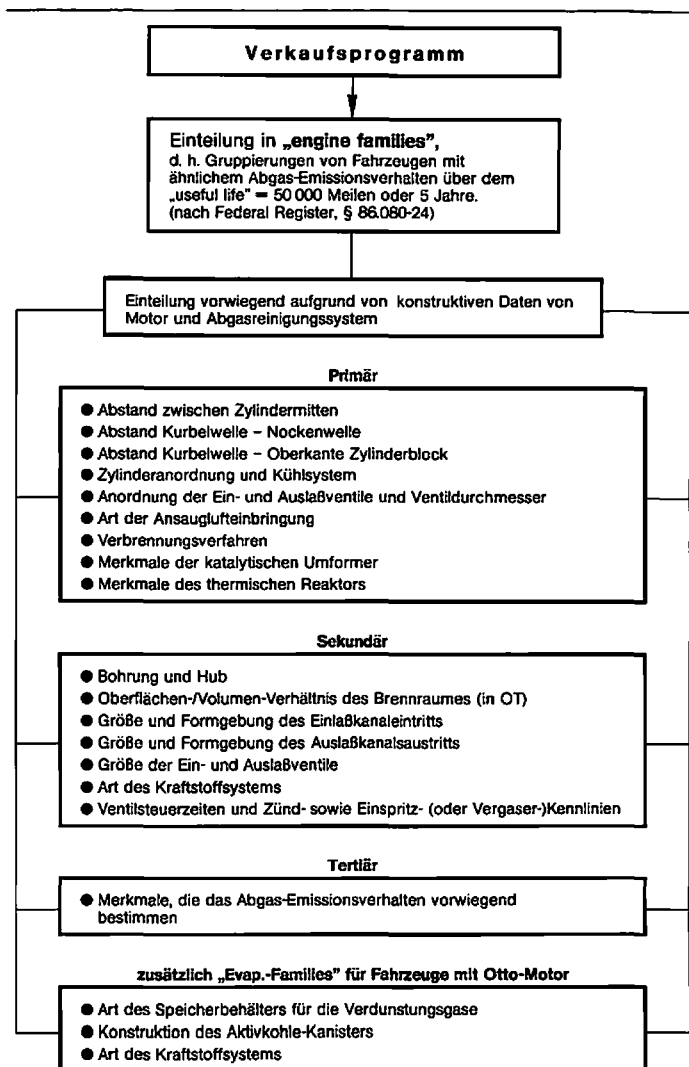
Durchsicht ausreichend (wenn sicher ist, daß keine Nachforderungen an Information oder Testfahrzeugen erfolgen). Im Falle einer ACR oder MACR (d. h. ab Modelljahr 1980/81) kann nicht mehr von Part I oder Part II gesprochen werden, da weder die technische Anmeldung (Part I) noch der technische Abschlußbericht (Part II) separat eingereicht werden. Generell gilt ab Modelljahr 1980, daß es kein eigenständiges Part II mehr gibt, sondern daß die früher in diesem Dokument zusammengefaßten Informationen schon während des Zulassungsverfahrens sukzessive und abschnittsweise (in "sections") eingereicht werden. An die Stelle der Part II-Abgabe

tritt beim ACR und MACR die Einreichung sämtlicher während des Zertifizierungsverfahrens erstellter Unterlagen auf einmal am Ende der Zulassungsprozedur. Die von der Behörde zur Durchsicht dieses Dokumentenpaketes benötigte Zeit kann unter Umständen wesentlich größer sein als die zuvor genannten 4 Wochen beim FCR. Dies ist darin begründet, daß die Behörde nicht nur sämtliche Unterlagen eines Herstellers auf einmal erhält, sondern daß auch andere Hersteller ihre Dokumente zum gleichen Zeitpunkt abgeben können. Da ein Sachbearbeiter bei der Behörde mehrere Automobilhersteller betreuen muß, kann es hierbei zu erheblichen Engpässen kommen.

Der Inhalt der am Ende des Zertifizierungsverfahrens an die Behörde übergebenen Papiere darf also besonders im Falle von ACR und MACR keine langwierigen Zusatzinformationen- oder Testforderungen oder gar Nachtests bei der Behörde auslösen. Damit wird dieser Übergabetermin für den Zertifizierungsbereich eines nach ACR oder MACR zulassenden Automobilherstellers zu einem der kritischsten Momente des Gesamtablaufes.

#### 5.2.1.6 Bestimmung der Dauerlauf-Fahrzeuge

Ein bedeutender Meilenstein des Zulassungsverfahrens ist die Bestimmung der aus Dauerlauf- und Emissionstestfahrzeugen zusammenzustellenden Testflotte. Fehlentscheidungen bei Dauerlauffahrzeugen, die 50.000 oder gar 100.000 Meilen zu akkumulieren und damit 5 bis 9 Monate Fahr- und Testbetrieb zu absolvieren haben, können nicht aufgefangen werden. Der Serienanlauf muß bei Nachforderung eines Dauerlauffahrzeuges durch die Behörde um mehrere Monate verschoben werden. Selbst die Nachforderung eines Emissionstest-Fahrzeuges (4.000 Meilen Fahrstrecke) kann den Serienanlauf wegen der in diesem Fall notwendigen Nachmessung im EPA-Labor in Ann Arbor (USA) erheblich blockieren.



**Bild III.5-16:** Kriterien für die Einteilung des vom Automobilhersteller zur Zertifizierung angemeldeten Fahrzeug-Verkaufsprogramms in „engine families“.

Nach Festlegung des Fahrzeug-Verkaufsprogrammes, gilt es zunächst, dieses Programm zertifikationsgerecht in "engine families" (Motor-Familien) zu gliedern. Die hierbei anzuwendenden Kriterien sind in Bild III. 5-16 zusammengefaßt. Die Einteilung wird vorwiegend aufgrund von konstruktiven Daten des Motors und Abgasreinigungssystems getroffen.

Nachdem die "engine family" -Gruppierung erfolgt ist, werden innerhalb dieser Familien weitere Unterteilungen derart durchgeführt, daß in verschiedene Kombinationen von Motor- und Abgasreinigungssystem getrennt wird. Jede dieser Kombinationen bedingt ein 50.000 Meilen Dauerlauffahrzeug. Die Ausstattung des 50.000-Meilen-Fahrzeuges orientiert sich an der höchsten Verkaufsstückzahl, wobei nur bestimmte Kriterien zugrundegelegt werden. Als Besonderheit bei der Auswahl von Dauerlauf-Fahrzeugen muß die Be-

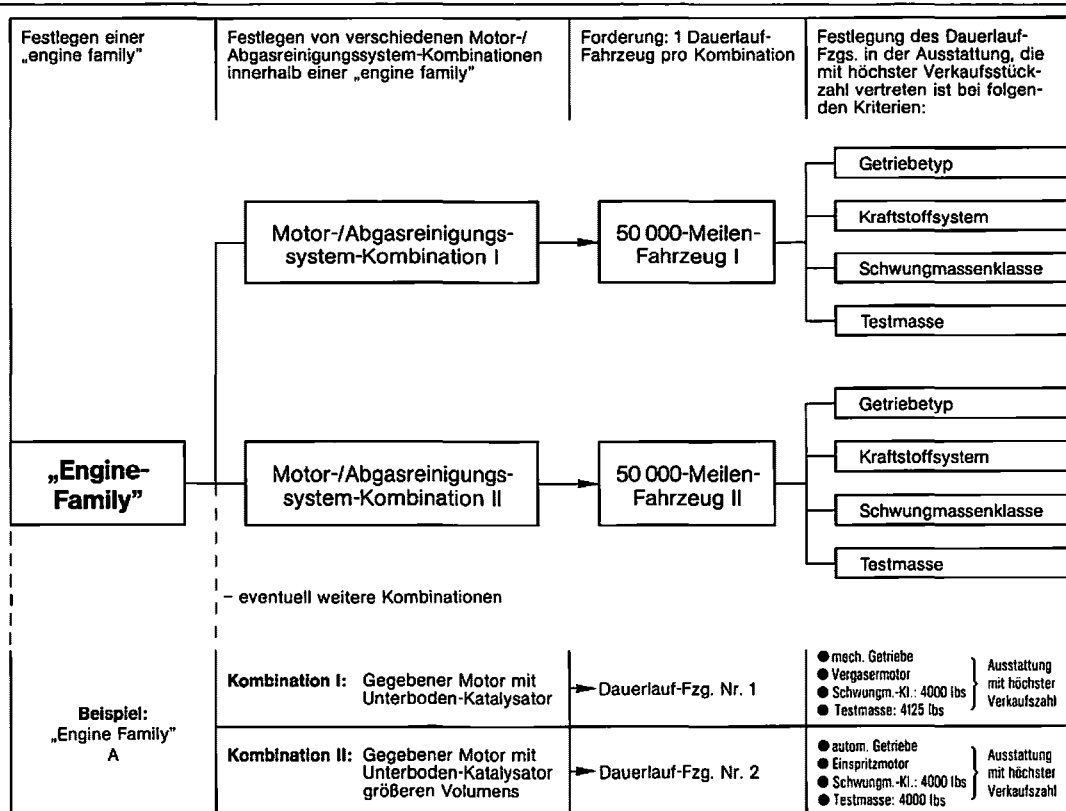
stimmung einer repräsentativen, verkaufsstückzahlgewichteten "Testmasse" für die jeweiligen Kombinationen genannt werden. Diese errechnet sich nach der Formel:

$$\text{"Testmasse"} = \frac{\sum \left( \frac{\text{Verkaufszahl der}}{\text{Kombinationen}} \right) \cdot \left( \frac{\text{Testmasse der}}{\text{Kombinationen}} \right)}{\sum \left( \frac{\text{Verkaufszahl der}}{\text{"engine family"}} \right)}$$

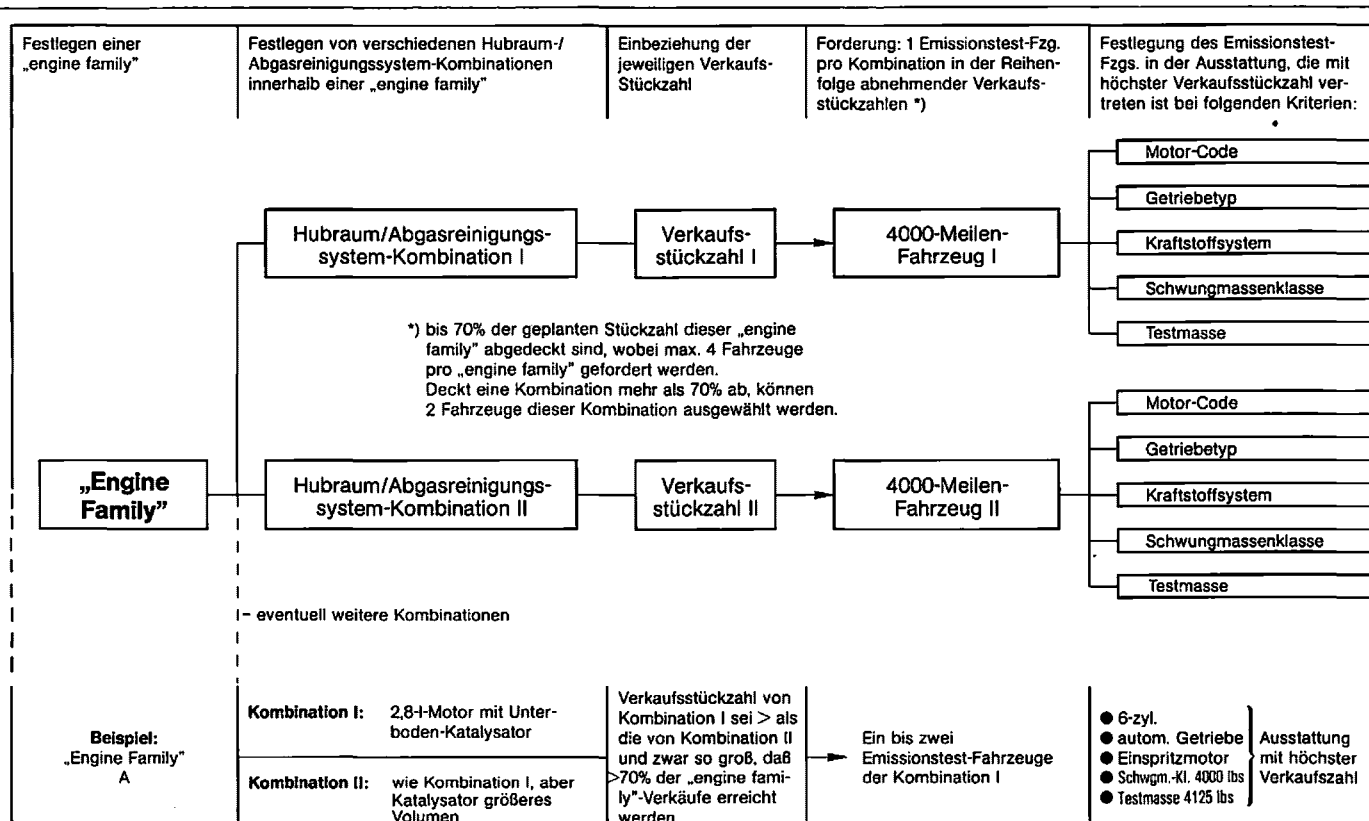
Das Verfahren der Dauerlauffahrzeug-Bestimmung ist detailliert in Bild III. 5-17 beschrieben, darüber hinaus ist in diesem Bild ein praktisches Beispiel für eine "engine family" gegeben, deren Aufbau in diesem Fall zwei Dauerlauffahrzeuge über 50.000 Meilen erforderlich macht.

#### 5.2.1.7 Bestimmung der Emissionstest-Fahrzeuge

Auch zur Festlegung von Emissionstest-Fahrzeugen muß zunächst das Verkaufsprogramm wie zuvor beschrieben in "engine families" eingeteilt werden. Die weitere Aufteilung unterscheidet nun verschiedene Kombinationen von Hubraum und Abgasreinigungssystem, von denen jeweils die Verkaufsstückzahl von Bedeutung ist. Für jede Kombination muß ein 4.000 Meilen Emissionstest-Fahrzeug festgelegt werden. Die Bestimmung erfolgt



**Bild III.5-17:** Bestimmung von 50 000-Meilen-Dauerlauffahrzeugen aus der sogenannten „engine family“ für die US-Abgaszertifikation.



**Bild III.5-18:** Bestimmung von 4000-Meilen-Emissionstestfahrzeugen aus der sogenannten „engine family“ für die US-Abgaszertifikation

in der Reihenfolge abnehmender Verkaufszahlen, bis 70 % der "engine family"-Verkaufszahl erreicht sind. Zusätzlich zum sogenannten "A"-Kriterium der 70 %-Verkaufszahlgrenze gibt es noch die Auswahlkriterien "B" (Bewertung nach der erwarteten höchsten Emission) und "C" (damit jede Motor/System-Kombination abgedeckt ist). In jedem Fall werden jedoch pro "engine family" nur höchstens 4 Testfahrzeuge gefordert. Der Ablauf der Auswahl von Emissionstest-Fahrzeugen mit Auswahl allein nach Kriterium "A" ist in Bild III. 5-18 wiederum mit einem Beispiel dargestellt.

#### 5.2.1.8 Bestimmung der Fahrzeuge für Verdunstungsemissions-Test

Bei Betrachtung des Verdunstungsemissions-Kontrollsystems werden die Fahrzeuge in sogenannte "evaporation families" (Verdunstungsemissions-Familien) eingeteilt. Innerhalb der "evaporation family" erfolgt gemäß Bild III. 5-16 eine Unterteilung in verschiedene Verdunstungsemissions-Kontrollsysteme, wobei von jedem dieser Systeme innerhalb der Familie ein Testfahrzeug ausgewählt wird.

Zusätzlich können innerhalb der "evaporation family" 4 Fahrzeuge ausgewählt werden, von denen die höchsten Verdunstungsemissionen erwartet werden.

#### 5.2.1.9 Bestimmung der Fahrzeuge für Kraftstoffverbrauchs-Tests

Zur Abdeckung des Verkaufsprogrammes hinsichtlich der gesetzlich vorgeschriebenen "Flottenverbrauchs"-Zielzahlen können weitere Testfahrzeuge erforderlich werden. Da jedes Emissionstest-Fahrzeug gleichzeitig zur Kraftstoffverbrauchsbestimmung herangezogen wird, ist zumindest ein Teil der "Verbrauchsflotte" durch die "Abgasflotte" abgedeckt. Es ist selbstverständlich, daß eventuell zusätzlich erforderliche Testfahrzeuge, die allein zur Kraftstoffverbrauchsbestimmung gefordert werden, auch sämtliche Emissionsgrenzwerte einhalten müssen.

#### 5.2.1.10 Die Kalifornien 100.000 Meilen-Option

Ab Modelljahr 1980 gibt es in Kalifornien für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren die Möglichkeit, nach schwächeren  $\text{NO}_x$ -Standards zu zertifizieren, wobei jedoch mit diesen erleichterten Grenzwerten ein 100.000 Meilen-Dauerlauf gekoppelt ist. Ohne diese Zusatzregelung hätten Pkw mit Diesel-Motoren nicht mehr verkauft werden können, da Technologien zur Erfüllung des zum 50.000 Meilen-Dauerlauf gehörenden 1980er  $\text{NO}_x$ -Standards nicht zur Verfügung standen.

Für die Abdeckung der 100.000 Meilen-Zertifizierung können zusätzliche Testfahrzeuge erforderlich werden, die den gleichen Auswahlkriterien wie die 4.000- und 50.000 Meilen Fahrzeuge unterliegen. In der praktischen Durchführung einer solchen Zertifizierung werden z. B. bei Daimler-Benz die "Kalifornien-Fahrzeuge" jedoch grundsätzlich so ausgelegt, daß sie auch die 49 Staaten Forderungen erfüllen. Damit kann dasselbe Fahrzeug während der ersten 50.000 Meilen die 49 Staaten Forderungen abdecken und beim Weiterlauf auf 100.000 Meilen auch die Kalifornien-Zertifizierung erfüllen.

Aufgrund spezieller Durchführungsbestimmungen bestehen weiterhin Möglichkeiten einer



"Entschärfung" der 100.000-Meilen-Option. So kann nach {736} unter bestimmten Bedingungen ein Abbruch des Laufes bei 50.000 Meilen oder bei 75.000 Meilen erfolgen, und nach {777} ist ab 50.000 Meilen eine Dauerlaufbeschleunigung bis zum 100.000 Meilenpunkt möglich.

#### 5.2.1.11 Tests an Dauerlauf-Fahrzeugen ("Durability Data Vehicles")

Im Falle von Importeuren dürfen die während eines Zertifikationsverfahrens anfallenden Emissionstests in den Labors des Automobilherstellers durchgeführt werden. Strengste gesetzliche Vorschriften über die Anforderungen an die meßtechnische Ausrüstung und die in diesen Labors angewendeten Verfahrensabläufe sollen mögliche Meßunterschiede zwischen verschiedenen Teststationen so weit wie möglich reduzieren. Es gibt außer den USA kein anderes Land mit Emissionskontrollgesetzgebung, das einen ähnlich hohen Detaillierungsgrad bei der Durchführung von Emissionstests fordert.

Dauerlauf-Fahrzeuge dienen der Ermittlung eines Verschlechterungsfaktors ("deterioration factor") für das verwendete Emissionskontrollsystem, wobei dieser Faktor für jede bewertete Emission (HC, CO, NO<sub>x</sub>, PM, Verdunstung) bestimmt wird. Nach beanstandungsfreiem "Null-Meilen-Test", d. h. nach einem Test auf allgemeine Funktionsfähigkeit, bei maximal 10 Meilen Laufstrecke, werden die Fahrzeuge bis zum 50.000- oder 100.000-Meilen Punkt in 5.000 Meilen-Intervallen kompletten Emissionstests unterzogen. Hierbei erfolgen an Wartungspunkten je ein Test vor und ein Test nach der Wartung. Ein 50.000 Meilen-Dauerlauf beinhaltet damit 13 und ein 100.000 Meilen-Lauf 26 Emissionstests (Wartungspunkte alle 15.000 Meilen angenommen).

Daimler-Benz hat für die Durchführung dieser Tests ein separates Testzentrum außerhalb der Untertürkheimer Entwicklungsanlagen errichtet, das ausschließlich nach den Belangen gesetzeskonformer (Zertifikations-)Testdurchführung ausgerüstet wurde. Da die Meilenakkumulation jedoch auf einer Teststrecke oder auf automatischen Rollenprüfständen des Entwicklungsbereiches durchgeführt wird, fällt bei jedem Emissionstest im obengenannten Zertifizierungszentrum ein zusätzlicher Fahrzeugtransport an, der harmonisch in den Gesamtablauf zu integrieren ist.

Bild III. 5-19 veranschaulicht die gesetzeskonforme Durchführung eines Zertifizierungstests gemäß den Vorschriften für Pkw mit Otto-Motoren. Die in diesem Bild dargestellte Fahrzeuganlieferung sowie der Fahrzeugtransport sind aufgrund des zuvor Gesagten nur für Hersteller gültig, die wie Daimler-Benz einen Fahrzeugtransport zwischen Meilenakkumulations-Teststrecke (oder -Prüfstand) und Emissionstestlabor einschalten müssen. Bis auf dieses Detail ist die Darstellung in obengenanntem Bild jedoch allgemein gültig und kann ebenso auf die nachfolgend beschriebenen Tests an Emissionstest-Fahrzeugen übertragen werden.

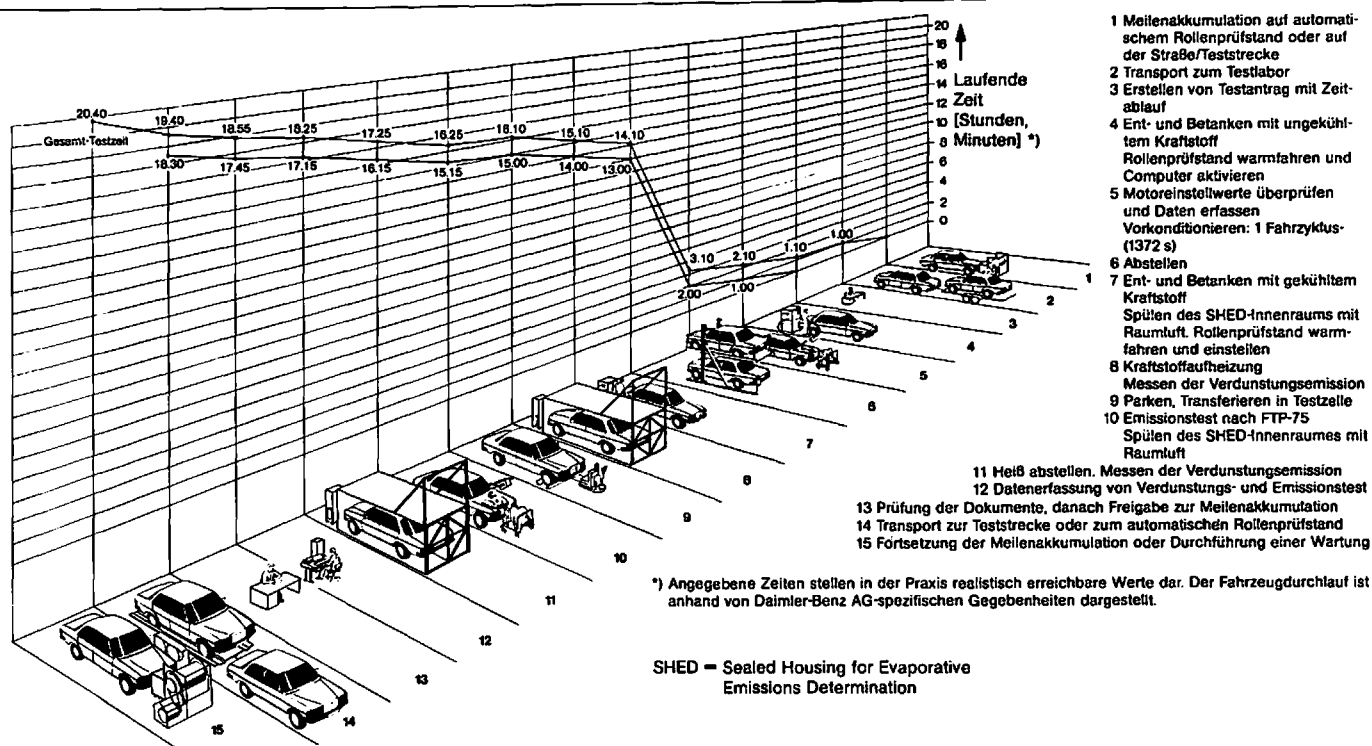


Bild III.5-19: Ablauf und Zeitbedarf eines Zertifikations-tests für PKW und leichte NFZ mit Otto-Motoren nach der US-„Federal Test Procedure“ (FTP)-75, nach [738].

#### 5.2.1.12 Tests an Emissionstest-Fahrzeugen ("Emission Data Vehicles")

Emissionstest-Fahrzeuge sollen die bevorstehende Serienfertigung repräsentieren und müssen daher bereits weitestgehend aus seriengleichen Teilen aufgebaut sein. Sie akkumulieren nach einem Funktionstüchtigkeitstest ("Null-Meilen Test" bei Laufstrecke <10 Meilen) nur eine Distanz von 4.000 Meilen, ehe sie ihren einzigen gewerteten Emissionstest absolvieren. Die Fahrstrecke von 4.000 Meilen soll den "green engine"-Effekt (ein neuer Motor zeigt mit zunehmender Laufzeit meist ein abnehmendes, sich ab einer bestimmten Laufstrecke annähernd stabilisierendes Emissionsniveau) eliminieren und repräsentative Emissionswerte ermöglichen.

Das Emissionstest-Fahrzeug ist zugleich das "Fuel Economy"-Fahrzeug, da es auch zur Ermittlung des für den jeweiligen Typ von der Behörde später veröffentlichten Kraftstoffverbrauches herangezogen wird. Diese Tatsache ist besonders deshalb von Bedeutung, weil jede aus Emissionsgründen an diesen Fahrzeugen eingeführte oder durchzuführende technische Änderung stets zugleich auf ihre Auswirkung auf den Kraftstoffverbrauch zu untersuchen ist. Andererseits muß auch ein "verbrauchsoptimiertes" Fuel Economy-Fahrzeug die gültigen Emissionsgrenzwerte erfüllen.

#### 5.2.1.13 Nachtests bei der Behörde

Bezüglich der Dauerlauf-Fahrzeuge bestand bis einschließlich Modelljahr 1979 die Regelung, daß diese 50.000 Meilen-Fahrzeuge bei der EPA nachzutesten seien, sobald das damit repräsentierte Modell in mehr als 10.000 Stück verkauft werden sollte. Dieses Verfahren galt sowohl für einheimische Automobilhersteller wie auch für Importeure.

Für einheimische Hersteller waren zusätzlich Zwischentests während des Dauerlaufes möglich, zu denen die EPA die Fahrzeuge in ihr Labor abrufen konnte. Diese Zwischentests im Behördenlabor während der Meilenakkumulation des Dauerlaufes wurden jedoch für Importeure aus Praktikabilitätsgründen nicht durchgeführt.

Die 4.000 Meilen-Emissionstest-Fahrzeuge mußten dagegen bis einschließlich Modelljahr 1979 alle - auch im Falle von Importeuren - zwecks Bestätigungstest ins Behördenlabor gebracht werden. Ab Modelljahr 1980 gilt diese Regelung theoretisch nicht mehr generell, obwohl sich an der obengenannten Praxis bisher nichts im Sinne einer Reduzierung des notwendigen Aufwandes (Flugtransport!) geändert hat: Die EPA fordert zunächst den Versand der Fahrzeuge nach Ann Arbor und entscheidet erst dort über eventuelle Nachtests im eigenen Labor.

Prinzipiell liefert bei Nachtests im Behördenlabor der EPA-Test das "official test result". Eine Ausnahme machen die "Fuel Economy Tests", bei denen die Behörde entweder ihren eigenen Test, den Mittelwert aus eigenen und Herstellertests oder ausschließlich die Herstellertests nach nicht schriftlich fixierten Beurteilungskriterien als "offiziell" anerkennt. Ab Modelljahr 1980 war es sogar im Falle von ungültigen EPA-Tests (Fehler des Fahrers oder in der Meßanlage) möglich, den Herstellertest zu verwenden.

#### 5.2.1.14 Zertifizierungsflotten verschiedener Automobilhersteller

Wie aus den vorigen Kapiteln ersichtlich wurde, bildet die Zertifizierungsflotte eine entscheidende Grundlage des Zulassungsverfahrens. Unregelmäßigkeiten im Zusammenhang mit diesen 4.000- und 50.000-Meilen Fahrzeugen bedeuten in jedem Fall ein direktes Risiko für den termingerechten Erhalt des Zertifikates und damit für den geplanten Verkaufsbeginn. Viele der für den geplanten Durchlauf dieser Zulassungsflotte möglichen Störungen - wie z. B. Transportverzögerungen während des Versandes der Fahrzeuge ins Behördenlabor in den USA aufgrund von Wetterbedingungen, Streiks oder Ablauffehlern bei den Transportunternehmen, Kapazitätsengpässe, Fehltests oder Instrumentenausfall im Behördenlabor - können nicht oder kaum vom Automobilhersteller beeinflusst werden. Anderen Störungen - wie z. B. dem Unfallrisiko während der Meilenakkumulation, einem Teileausfall am Fahrzeug, Motor oder Emissionskontrollsystem und der stets vorhandenen Gefahr, daß das Testfahrzeug nicht das erforderliche Emissionsniveau aufweist - kann jedoch mit entsprechendem finanziellen Einsatz weitgehend vorgebeugt werden.

In diesem Zusammenhang ist es aufschlußreich, anhand von Bild III. 5-20 einen Blick auf die Zertifizierungsflotten verschiedener Automobilhersteller zu werfen. Der markante Unterschied in der Zahl von 4.000- und 50.000 Meilen-Fahrzeugen zwischen Importeur und den US-Herstellern ist nicht nur durch das weiter gefächerte Modellangebot der einheimischen Produzenten bedingt, sondern gibt auch die Möglichkeit, durch Diversifikation der zur Zulassung angemeldeten Systeme bei Ausfällen oder Nicht-Be-

Modell- jahr	American Motors			Chrysler			Ford			General Motors			Daimler-Benz		
	Zertifizierung		R/C <sup>2)</sup>	Zertifizierung		R/C <sup>2)</sup>	Zertifizierung		R/C <sup>2)</sup>	Zertifizierung		R/C <sup>2)</sup>	Zertifizierung		R/C <sup>2)</sup>
	50K	4K	Anzahl	50K	4K	Anzahl	50K	4K	Anzahl	50K	4K	Anzahl	50K	4K	Anzahl
1968	4	16	-	5	28	-	7	45	-	7	76	-	3	6	-
1969 <sup>4)</sup>	4	16	-	5	26	-	7	46	-	7	76	-	3	4	-
1970	4	15	-	4	24	-	-	-	-	12	68	-	4	5	-
1971	6	28	-	4	56	-	22	52	-	11	65	-	5	8	-
1972	5	10	-	18	24	-	28	58	-	9	69	-	6	7	4
1973	10	20	4	7	26	11	13	53	-	15	55	41	3	6	8
1974	9	32	3	10	38	-	36	98	-	22	99	9	6	10	4
1975	11	35	11	34	111	44	58	81	87	37	151	39	7	13	4
1976	4	37	21	12	62	19	0	38	72	7	119	28	2	6	6
1977	13	36	11	16	74	-	78	64	-	51	128	35	8	17	4
1978	4	25	19	22	94	-	13	60	-	9	112	-	1	13	7

1) Die Zusammenstellung der 50K (= 50 000 Meilen) - und 4K (=4000 Meilen) - Fahrzeuge bezieht sich auf diejenige Anzahl Fahrzeuge, die tatsächlich die volle Laufstrecke durchfahren hat. Die bei der EPA vom jeweiligen Hersteller zu Beginn der Zertifizierung angemeldete 50K- und 4K-Fahrzeugflotte ist zum Teil wesentlich größer. Es wurden «Haupt»-Fahrzeuge und «Alternativ»-Fahrzeuge («back-up» Fahrzeuge) zusammengezählt. 49-Staaten- und Kalifornien-Fahrzeuge wurden zusammengezählt.  
2) Die unter R/C (= Running-Change) angegebene Zahl bedeutet die Anzahl der 4K-Fahrzeuge, die zur Anerkennung des Running-Change gefahren und getestet werden mußten. Die mit diesen Fahrzeugen zur Anerkennung gebrachte Anzahl technischer Änderungen (Running-Changes) ist fast stets wesentlich größer (so wurden z. B. im Modelljahr 1975 von Chrysler 240, von Ford 424 und von GM 229 Running-Changes durchgeführt).  
3) Die angegebenen Zahlen obiger Tabelle geben den unter schwierigen Umständen erarbeiteten bestmöglichen Wissensstand des Verfassers wieder, in jedem Fall wird die Relation der Hersteller untereinander und besonders der Vergleich von 4 US-Herstellern mit dem Importeur Daimler-Benz deutlich.  
(- bedeutet: Daten waren nicht verfügbar); Angaben nur auf Pkw bezogen («light-duty trucks» nicht beinhaltet). 4) eventuell «Carry Over».

**Bild III. 5-20:** Vergleich der Zertifizierungsflotten von 4 US-Automobilherstellern und Daimler-Benz in den ersten 10 Jahren der Bundes-Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw in den USA, nach [739]

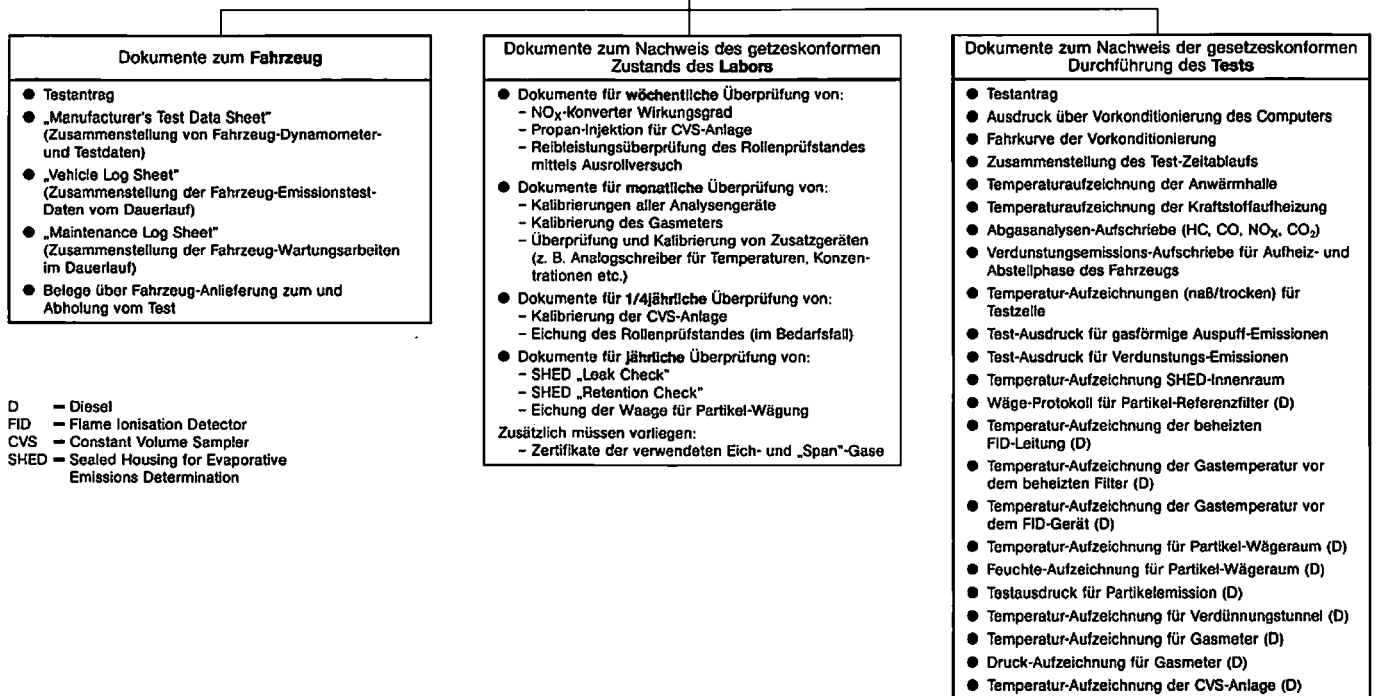
stehen einzelner Konzepte über "Reserve-Lösungen" in jedem Fall eine Verkaufszulassung zu erhalten. Eine derartige "Zertifizierungs-Philosophie" ist jedoch äußerst kostspielig und wird z. B. von Daimler-Benz praktisch nicht angewendet.

### 5.2.1.15 Dokumentationsanforderungen

Ein Punkt, der meist bei der Diskussion von Emissionskontrolle und Zertifizierungsabwicklung nicht beachtet und auch in Planungen nicht berücksichtigt wird, ist der enorme Aufwand an Dokumentationsarbeit, den ein Automobilhersteller in diesem Zusammenhang erbringen muß. Unter dem Gesichtspunkt, daß die Behörde jederzeit während des laufenden Zulassungsverfahrens alle bis zu diesem Zeitpunkt theoretisch notwendig gewordenen Arbeiten dokumentiert haben möchte (Anforderung aller Unterlagen durch die EPA - sogenannter "desk audit" -) oder daß die Behörde nach kurzfristiger Anmeldung zu Kontrollbesuchen im Herstellerwerk erscheinen kann (- sogenannter "inspection audit" -) ist es von entscheidender Bedeutung, eine absolut lückenlose Dokumentation zu führen.

Jede Entscheidung und jede technische oder organisatorische Maßnahme während der Zulassung müssen sofort schriftlich festgehalten oder belegt werden. Am Beispiel eines Zertifizierungstests für ein Emissionstest-Fahrzeug ist in Bild III. 5-21 dieser hohe Aufwand veranschaulicht, der gleichermaßen für andere Aktivitäten der Zertifizierung gilt. Im übrigen sei auch auf Kap. 5.2.4.3 ("Behördliche Kontrollbesuche") verwiesen, in dem die möglichen Konsequenzen unvollständiger Dokumentation aufgezeigt werden.

## ZERTIFIZIERUNGSTEST-DOKUMENTATIONSUMFANG



**Bild III.5-21:** Dokumentations-Aufwand für einen US-Zertifizierungs-Emissionstest (Nur wenn die genannten Dokumente vorliegen und Übereinstimmung mit den relevanten gesetzlichen Vorschriften belegen, ist ein Zertifizierungstest gültig)

### 5.2.2 Bewahren der Verkaufszulassung

Aus den verschiedensten Gründen können technische Änderungen in der Serienproduktion oder an den bereits im praktischen Einsatz laufenden Fahrzeugen erforderlich werden. Obwohl diese Änderungen in der weit überwiegenden Anzahl nicht zur Emissionsverbesserung (sondern z. B. aus Gründen wie: Vereinheitlichung der Produktion oder des Ersatzteilwesens, Übergang auf Teile eines anderen oder weiteren Zulieferers, Einsatz kostengünstigerer Teile oder Verfahren etc.) durchgeführt werden, sind sie sowohl für den Bereich "Serienproduktion" wie auch für den Bereich "Feldeinsatz" stets bezüglich möglicher Auswirkungen auf das Emissionsverhalten des Fahrzeuges zu überprüfen. Der Automobilhersteller muß - falls diese Auswirkungen vorhanden sind - in beiden Fällen Nachzertifikationen durchführen, um die Gültigkeit des von den Behörden erteilten Zertifikates trotz der durchgeführten technischen Änderung aufrechtzuerhalten.

#### 5.2.2.1 Maßnahmen in der Serienproduktion: "Running-Change"-Verfahren

Gemäß den im US-Bundesgesetzblatt enthaltenen Regelungen ("Changes to a Vehicle or Engine covered by Certification") muß der Hersteller den Administrator der EPA von jeder Änderung an Fahrzeug oder Motor unterrichten, bei der Teile oder Eigenschaften betroffen sind, die Einfluß auf das Emissionsverhalten haben könnten {741}.

In diesem Zusammenhang hat die EPA eine Liste über sogenannte "emissions-relevante Teile" herausgegeben, die als Leitfaden bei der Beurteilung einer möglichen Emissionsbeeinflussung dienen soll. Eine Zusammenstellung dieser Teile ist praktisch schon in Bild III. 5-12 gegeben, da der Inhalt der obengenannten EPA-Liste Teile und

Systeme betrifft, die dem im früheren Part I zur Zertifizierung angemeldeten Umfang entsprechen. Darüber hinaus ist eine im Gesetz vorgesehene allgemein gehaltene Meldeverpflichtung von großer Bedeutung, da sie der Behörde einen weiten Interpretationsspielraum läßt und daher vom Hersteller sicherheitshalber stets im Sinne des Gesetzes anzuwenden ist.

"Eine Meldung an die EPA ist auch bei Änderungen an Komponenten oder Spezifikationen erforderlich, die nicht in der Liste emissionsrelevanter Teile enthalten sind, wenn sie nach der Beurteilung des Herstellers das Emissionsniveau oder das Langzeitemissionsverhalten beeinflussen können" {742}.

Daher muß ein Automobilhersteller nach Abschluß eines Zertifizierungsverfahrens auch in der Produktion sicherstellen, daß die während des bevorstehenden Modelljahres serienmäßig hergestellten Fahrzeuge in jeder Hinsicht dem zertifizierten Zustand entsprechen.

Wenn anlässlich technisch notwendiger Änderungen in der Serienproduktion emissionsrelevante Teile betroffen sind, oder das Emissions-Potential der geänderten Fahrzeuge beeinflußt wird, sind die einleitend genannten Nachzertifikationen im sogenannten "running-change"-Verfahren abzuwickeln. Der entsprechende Aufwand kann zwischen einfacher Meldung an die Behörde bis zur Durchführung von neuen 50.000 Meilen-Läufen und Testwagen-Vorstellungen bei der US-EPA reichen. In Bild III. 5-22 ist der theoretische Ablauf einer derartigen "running-change" Prozedur dargestellt, wobei angenommen wurde, daß das kalifornische ARB mit den EPA-Auflagen konform ging und keine eigenen Forderungen gestellt hat. Bezüglich der Exaktheit der durchzuführenden Tests und des gesamten Berichterstattungs- und Dokumentationswesens gelten die gleichen scharfen Forderungen wie sie für eine Erst-Zertifikation anzuwenden sind.

Es kann nun in der Praxis vorkommen, daß ohne Zeitverzug eine bestimmte Änderung in die Serienfertigung eingeführt werden muß, (z. B. bei Materialfehlern, Teileengpässen etc.) und ein Warten auf behördliche Anerkennung der Änderung im "running-change" Verfahren zum Stillstand der Produktion führen würde. In diesen Fällen liegt es im Ermessen des Zertifikationsbereiches des Automobilherstellers, auf eigenes Risiko einer sofortigen Freigabe der notwendigen technischen Änderungen zuzustimmen, d. h. der behördlichen Entscheidung vorzugreifen. Die hierbei übernommene Verantwortung ist hoch, denn sollte die US-EPA bei der Beurteilung der parallel zur obengenannten Eigenentscheidung eingereichten Unterlagen - im Gegensatz zur Herstellerannahme - mit Testforderungen antworten, so ist nach Federal Register § 86.078-34:

"Alternative Procedure for Notification of Additions and Changes" die technische Änderung innerhalb von 5 Tagen nach Eingang dieser Testforderungen wieder auszubauen. Somit beinhaltet die obengenannte Eigenentscheidung des Herstellers praktisch gleichzeitig eine Zustimmung zu einem eventuellen "Recall-Verfahren".

In jedem Fall darf ohne schriftliche Zustimmung des Administrators der EPA eine durch Eigenentscheidung in die Serie eingeflossene Änderung nicht länger als 30 Tage produ-



ziert werden {743}. Da die Diskussion mit der Behörde über den "running-change" Wochen dauern kann, sind die produzierten Fahrzeuge - falls die Änderungen auf eigenes Risiko eingebaut wurden und die EPA schließlich anders als vom Hersteller angenommen entscheidet - schon auf dem Seeweg in die USA, wodurch korrigierende Maßnahmen sehr erschwert werden. Hinzu kommt, daß spätestens zu diesem Zeitpunkt die Serienfertigung gestoppt werden muß, wenn nicht mit erneuter und inzwischen weiter erhöhter Risikoübernahme sofort ein geänderter "running-change" nachgereicht wird.

#### 5.2.2.2 Maßnahmen im Feld: "Field-Fix"-Verfahren

Auch die im Verkehr befindlichen Fahrzeuge eines in der Produktion bereits beendeten Modelljahres unterliegen weiterhin den gesetzlichen Auflagen, nach denen sie einst zertifiziert wurden. Daraus folgt, daß auch für diese Wagen das Zertifikat erlischt, wenn Änderungen an abgasrelevanten Teilen oder Systemen vorgenommen werden. Solche Änderungen werden z. B. gewünscht, wenn Teile des Emissionskontrollsystems von Fahrzeugen eines späteren Modelljahres aus Ersatzteil-Vereinheitlichungsgründen auch für zurückliegende Modelljahre (d. h. für bereits im Verkehr befindliche Fahrzeuge) eingeführt werden sollen.

Die Bewahrung des durch ein gültiges Zertifikat abgedeckten Zustandes erfolgt dann für diese älteren Fahrzeuge mittels eines sogenannten "field-fix"-Verfahrens. Dieses Verfahren entspricht dem im vorigen Kapitel genannten "running-change"-Verfahren für die laufende Produktion, kann ebenfalls Nachtests beinhalten und unterliegt den gleichen strengen Dokumentationsverpflichtungen. Nach {744} wird ein "field-fix" definiert als:

"Änderung, Ausbau oder Ersatz einer im Zusammenhang mit den Emissionskontrollsystemen des Fahrzeuges stehenden Komponente durch einen Hersteller oder Händler oder eine vom Hersteller vorgesehene und vom Händler durchzuführende Änderung von Spezifikationen oder Wartungspraktiken für derartige Komponenten an Fahrzeugen, die die Serienfertigung verlassen haben".

Sollten also bei behördlichen Nachkontrollen im Verkehr (wie sie detailliert in Teil II, Kap. 8.2 beschrieben wurden) Teile am Motor oder Fahrzeug gefunden werden, die nicht durch ein Zertifikat (Erstzertifikat, "running-change", "field-fix") abgedeckt sind, ist mit detaillierten Recherchen der Behörde, Recall-Forderungen und Strafzahlungen zu rechnen.

#### 5.2.3 Zusätzliche Aufgaben zur Sicherstellung der Zertifizierung: Vorbereitende und flankierende Maßnahmen zur Zertifizierung im Bereich der Technik

Wie Bild III. 5-3 entnommen werden kann, besteht eine Zertifizierung nicht allein aus den direkten - und daher meist ausschließlich mit dem Wort "Abgaszertifizierung" in Verbindung gebrachten - Aufgaben. Sie kann nur dann erfolgreich bewältigt werden, wenn der Zertifizierungsbereich eines Automobilherstellers zusätzlich durch vorbereitende und flankierende Arbeiten die technischen Voraussetzungen schafft, damit die "direkten" Arbeiten reibungslos abgewickelt werden können. Diese Problematik sei nach-



folgend näher erläutert.

5.2.3.1 Zulassung von Teststrecken zur Meilenakkumulation des Dauerlaufs

Grundlage für die Meilenakkumulation auf der Straße ist der im Bild III. 5-23 dargestellte gesetzlich vorgeschriebene Fahrverlauf (A). Da sich dieser Verlauf nur selten exakt einhalten läßt, ist zunächst einmal die dem Hersteller zur Verfügung stehende Teststrecke bei der Behörde einem Genehmigungsverfahren zu unterziehen. Im Falle Daimler-Benz wurde die werkseigene Einfahrbahn für Zertifikations-Dauerläufe vorge-

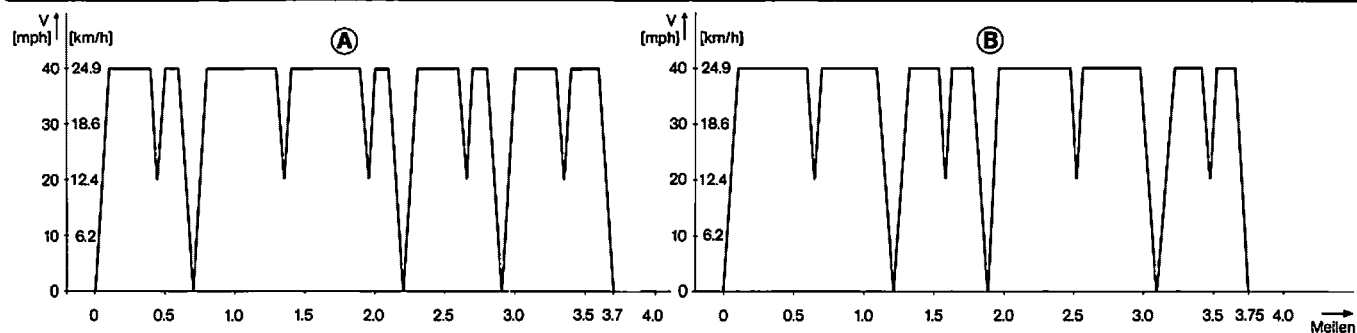
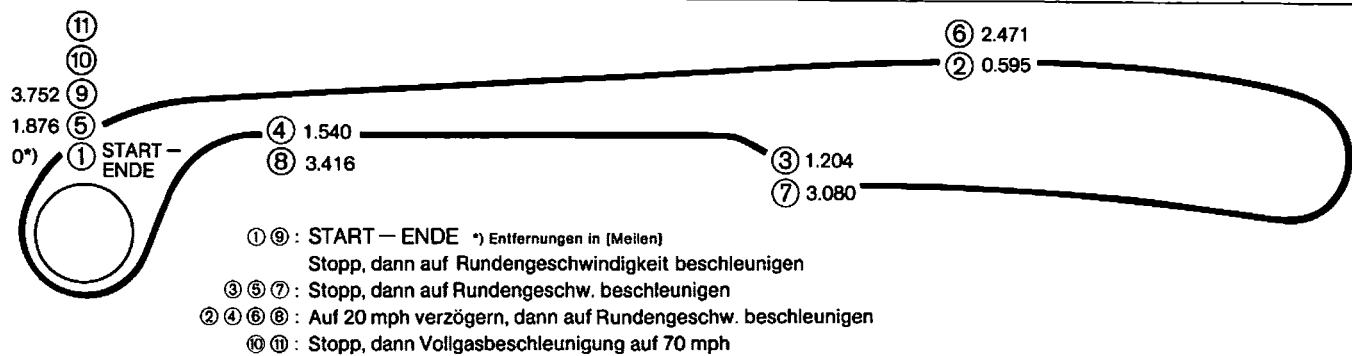


Bild III.5-23: Der für die Meilenakkumulation eines Zertifizierungs-Dauerlauffahrzeugs vorgeschriebene Geschwindigkeitsverlauf (A) und der an die Daimler-Benz Einfahrbahn-Verhältnisse angepaßte Verlauf (B) am Beispiel der Runde 1 des AMA-Zyklus, nach [745].

sehen und ein an diese Teststrecke angepaßter (möglichst wenig vom vorgeschriebenen EPA-Rundkurs abweichender) Fahrverlauf bei der Behörde angemeldet und zugelassen. Die Einfahrbahn von Daimler-Benz mit der entsprechenden Einteilung ist in Bild III. 5-24 gezeigt, die Abweichungen von der gesetzlich geforderten Fahrstreckeneinteilung sind ebenfalls in diesem Bild zusammengefaßt.



Fahrgeschwindigkeitsprogramm			
Runde *)	Rundengeschw.		Bemerkungen
	[mph]	[km/h]	
1, 2	40	65	Die 10. Runde (= Doppelrunde 19, 20) wird ohne Verzögerungen mit 55 mph = const. gefahren.
3, 4	30	45	
5, 6, 7, 8	40	65	
9, 10	35	65	
11, 12	30	55	Die 11. Runde (= Doppelrunde 21, 22) wird nur in der Mitte der Runde einmal durch eine Leerlaufphase unterbrochen, die Beschleunigungen erfolgen mit Vollgas.
13, 14	35	45	
15, 16	45	55	
17, 18	35	70	
19, 20	55	55	
21, 22	70	70	

Geschwindigkeit [mph]	Anteil am Gesamt-fahrprogramm (%)		weitere charakt. Größen des Fahrprogramms	EPA		Daimler-Benz	
	EPA	Daimler-Benz		pro Zyklus	pro Meile	pro Zyklus	pro Meile
30	16.1	16.0	Stoppe	39	0.96	39	0.944
35	22.6	21.3	normale Beschl. (von Null)	37	0.91	37	0.896
40	20.9	18.5	Vollgas Beschl. (von Null)	2	0.05	2	0.048
45	6.4	5.3	Leerlauf [s]	555	13.64	585	14.174
55	8.6	9.0	Beschl. von 20 mph	45	1.11	36	0.872
70	7.9	7.9	Mitt. Zyklus Beschw. [mph]	30.72		27.368	
Beschleunigung und Verzögerung	17.5	22.0	Distanz pro Zyklus [Meilen]	40.70		41.272	
Gesamt	100	100	Dauer eines 50 000-Meilen-Laufs [Std.]	1628		1827	

Vergleich der charakteristischen Daten vom gesetzlich vorgeschriebenen (EPA-)Dauerlauf-Fahrprogramm (AMA-Zyklus) für die Zertifizierung mit dem von Daimler-Benz nach den Gegebenheiten der im Werk vorhandenen Einfahrbahn modifizierten Fahrverlauf

Bild III.5-24: Daimler-Benz Einfahrbahn mit angepaßter Fahrstrecken-Einteilung für Zertifizierungs-Abnahmeläufe sowie dazugehöriges Fahrgeschwindigkeitsprogramm und Abweichungen zum theoretisch vorgeschriebenen AMA-Zyklus. Eine Doppelrunde auf der Einfahrbahn entspricht einer Runde des AMA-Rundkurses der US-EPA, nach [746, 747].

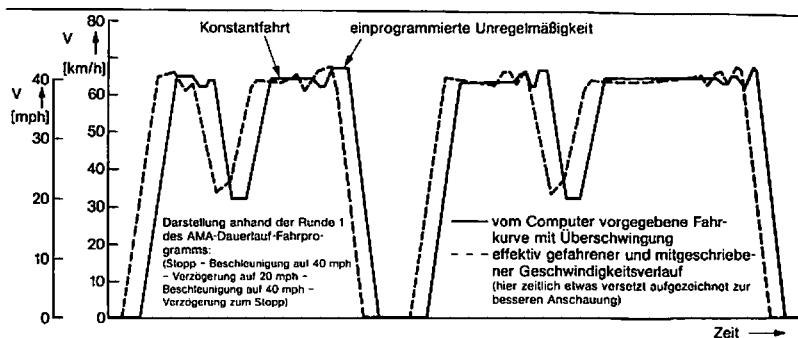
#### 5.2.3.2 Zulassung automatischer Rollenprüfstände zur Meilenakkumulation des Dauerlaufs

Die Bemühungen der Automobilhersteller, automatische Rollenprüfstände zur Meilenakkumulation für Dauerlauf-Fahrzeuge zu verwenden, gehen zurück bis ins erste Jahr der US-Emissionskontrollgesetzgebung: Verschiedene Hersteller, wie z. B. GM, VW und Daimler-Benz führten schon 1968 Gespräche mit dem DHEW und dem ARB über ihre Planungen zur Installation solcher Anlagen, mußten aber die Realisierung dieser Projekte teilweise zurückstellen, da die anfänglichen behördlichen Vorstellungen über die auf derartigen Prüfständen vorzusehenden Bedingungen (z. B. Simulation von Streusalzeinflüssen - "salt spray") nicht realisierbar waren {748}.

Zu diesem Thema fanden Abstimmungsgespräche zwischen dem DHEW und dem ARB statt und schließlich stimmte das DHEW am 12.08.1969 gegenüber der Daimler-Benz AG erstmals der Verwendung eines automatischen Rollenprüfstandes prinzipiell zu. Die anfangs diskutierte Forderung nach "periodic salt spray" wurde fallengelassen und nur noch Geschwindigkeits-Zeit-Vergleiche zwischen dem Fahren auf der Straße und auf dem Rollenprüfstand als Grundlage einer offiziellen Genehmigung zur Vorlage bei der Behörde angefordert {749}.

Da automatische Rollenprüfstände bedeutend weniger Personal binden als im Schichtbetrieb bewältigte Straßentests und darüber hinaus das Risiko eines Unfalls nahezu ausschließen, wird die Verwendung derartiger Prüfstände zur Durchführung von Zertifizierungs-Dauerläufen jedes Jahr erneut beantragt. Als Grundlage der notwendigen behördlichen Anerkennung von Rollenprüfständen zur Meilenakkumulation wird vom Automobilhersteller der Nachweis gefordert, daß die auf dem Prüfstand vorliegenden oder herstellbaren Bedingungen weitgehend den Verhältnissen beim Fahren auf der Straße entsprechen. Daher gilt es bei der Zulassung von automatischen Rollenprüfständen, die beim Fahren auf einer (wie in Bild III. 5-24 eingeteilten) Teststrecke auftretenden Bedingungen in den zulässigen Grenzen auf einem Rollenprüfstand zu simulieren. Dieses Zulassungsverfahren ist für jedes Modelljahr zu wiederholen, in dem die Abgasreinigungsanlagen der Fahrzeuge Änderungen erfahren und gilt jeweils nur für die individuell zugelassene Fahrzeug-Rollenprüfstands-Kombination. In der Praxis folgt daraus, daß - wenn z. B. Rollenprüfstand X nur für einen Diesel-Motor - und Rollenprüfstand Y nur für ein Katalysatorfahrzeug zugelassen wurde, bei Ausfall von Rolle X das Diesel-Motor-Fahrzeug nicht auf Rolle Y weiterlaufen darf. Will man derartige Fälle absichern, so erhöht sich der Zulassungsaufwand für die Rollenprüfstände erheblich.

Das Verfahren der möglichst identischen Reproduktion der beim Fahren auf der Straße gefundenen Bedingungen auf dem Rollenprüfstand ist besonders deshalb sehr kompliziert, weil nach {750} bei Fahrzeugen mit Otto-Motor 12 und bei Fahrzeugen mit Diesel-Motor 13 Meßpunkte zwischen Straße und Rolle abgeglichen werden müssen. Die Übereinstimmung der Verhältnisse in diesen 12 (13) Punkten ist darüber hinaus für



**Bild III.5-25:** Von der US-EPA geforderte Abweichungen vom theoretisch exakten Fahrverlauf (AMA-Zyklus) bei der Meilenakkumulation von Zertifikations-Dauerlauffahrzeugen auf automatisch gesteuerten Freiluftrollenprüfständen (die einprogrammierte Überschwingung soll das Fahren eines menschlichen Fahrers simulieren), nach [747].

drei verschiedene Runden des AMA-Fahrzyklus, d. h. bei Rundengeschwindigkeiten von 30, 55 und 70 mph (mit den dabei vorliegenden sehr unterschiedlichen Betriebs- und Temperaturbedingungen) nachzuweisen.

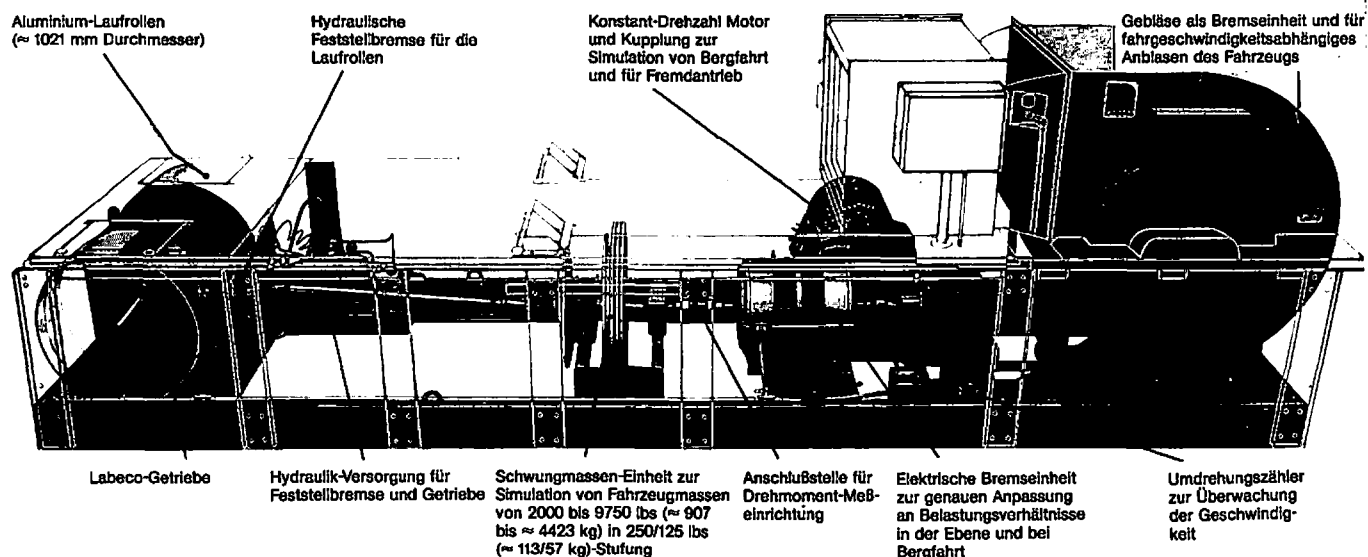
Selbst die Verwendung der zweckmäßigerweise auf den obengenannten Prüfständen eingesetzten automatischen Fahrer bedarf einer

speziellen Behördengenehmigung. In Bild III. 5-23 war der gesetzlich vorgeschriebene Fahrverlauf wiedergegeben, den besonders ein automatischer Fahrer exakt einhalten könnte. Bei den Zulassungsverfahren für einen solchen Steuerelementen im Jahre 1973 wurde jedoch dieses exakte Nachfahren des vorgeschriebenen Zyklus nicht anerkannt, da - so die Behörde - "ein Fahrer auf der Straße nicht so exakt fahren würde". Durch Einprogrammierung einer Überschwingung, wie sie in Bild III. 5-25 gezeigt ist, d. h. durch "schlechtes" Nachfahren der Sollkurve, wurde schließlich die behördliche Anerkennung des automatischen Fahrers erreicht. An dieser Stelle darf bezweifelt werden, ob eine derartige Auflage für das Verschlechterungsverhalten des Abgasreinigungssystems zu dessen Erfassung der Dauerlauf ja dient, in irgendeiner meßbaren Form von Einfluß ist.

Beim Streben nach einer möglichst perfekten Übereinstimmung zwischen Fahrbetrieb auf Rolle und Straße, plante die US-EPA zunächst noch weitere auf dem Rollenprüfstand zu erfüllende Vorschriften [751], wie z. B.:

- Intervallweises Ansprühen des Auspuffsystems mit Salzlösung zur Simulation von Fahrbetrieb auf Winterstraßen ("periodic salt spray")
- Intervallweises Ansprühen des Auspuffsystems mit Wasser zur Simulation von Thermoschocks beim Fahren auf regennasser Fahrbahn
- Realisierung von Schwingungen und Stößen zur Simulation des Fahrens auf unebener Straße

Da derartige Forderungen praktisch nicht erfüllbar waren, erlangten sie schließlich auch keine Gesetzeskraft. Abschließend ist in Bild III. 5-26 noch ein hauptsächlich von US-Automobilherstellern zur Meilenakkumulation bei Dauerläufen eingesetzter Freiluft-Rollenprüfstand gezeigt.



**Bild III.5-26:** Der besonders von US-Automobilherstellern (bei Ford  $\approx 16$ , bei GM  $\approx 48$  Einheiten im Einsatz) zur Meilenakkumulation von (Zertifikations-)Dauerlauftfahrzeugen eingesetzte Rollenprüfstand von Labeco. (Das Fahrtwindgebläse dient einerseits als Bremsenheit und liefert, da mit den Laufrollen gekoppelt, gleichzeitig eine fahrgeschwindigkeitsabhängige Luftanströmung für das Fahrzeug), [752].

### 5.2.3.3 Zulassung von Emissionstest-Labors

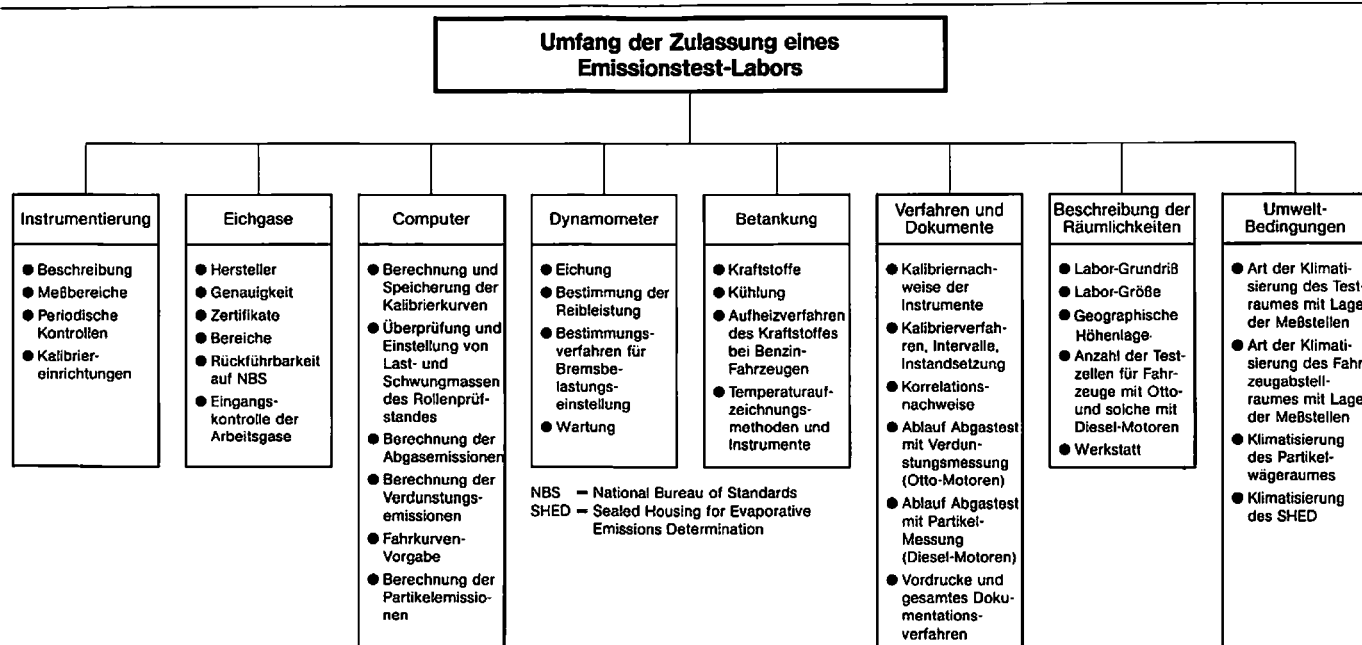
Bevor irgendein behördlicherseits anerkannter Emissionstest beim Automobilhersteller durchgeführt werden kann, sind die für Zertifikations-Emissionstests vorgesehenen herstellereigenen Testanlagen und die darin praktizierten Arbeits- und Prüfaktivitäten einem behördlichen Genehmigungsverfahren zu unterziehen. So erhielt z. B. die



**Bild III.5-27:** Erste Zulassung eines Testlabors der Daimler-Benz AG für die Durchführung von offiziell anerkannten Zertifizierungstests im Herstellerwerk durch die Kalifornische Umweltschutzbehörde (heute: CARB) aus dem Jahre 1965

Daimler-Benz AG erstmals eine behördliche Anerkennung der Stuttgarter Emissionstest-Labors durch die kalifornische Behörde (ARB) im Jahre 1965. Dieses Zertifikat sei an dieser Stelle als historischer Meilenstein in Bild III. 5-27 wiedergegeben. Seit jener Zeit haben die Meßanlagen ständig an Umfang und Komplexität zugenommen und ebenso sind die

entsprechenden Genehmigungsverfahren für diese Labors aufwendiger geworden. Die vom Automobilhersteller in diesem Zusammenhang an die Behörde einzureichenden Informationen sind - auf den Status von Modelljahr 1981 bezogen - in Bild III. 5-28 zusammengefaßt. Erst nach Anerkennung der Gesetzeskonformität aller dieser Einzelpunkte und



**Bild III.5-28:** Die im Rahmen der Zulassung eines Emissionstest-Labors vom Automobilhersteller anzufertigenden Beschreibungen und Dokumente, ohne deren Anerkennung durch die Behörde (US-EPA) keine offiziellen Zertifikationstests im herstellereigenen Labor gefahren werden können.

nach Anerkennung eines (im Falle von US-Labors des Automobilherstellers in Anwesenheit von Behördenvertretern durchgeführten) Probetests darf ein herstellereigenes Labor zur Durchführung von behördlich anerkannten Zertifikationstests verwendet werden.

Parallel zum ständig steigenden Aufwand für den Aufbau und die meßtechnische Ausrüstung von Emissionstestlabors wuchs die Anzahl der entsprechend der sich ebenfalls laufend verschärfenden Emissions-Standards erforderlich gewordenen Versuchs- und Zertifizierungstests. Am Beispiel der Daimler-Benz Testaktivitäten sei ein Eindruck für den auf diesem Gebiet erbrachten Aufwand vermittelt: Seit Beginn der Erfassung der Abgastests im Jahre 1967 wurden bis zum Jahre 1981 rund 100.000 Abgastests gefahren. Die zur Fortschreibung der weltweiten Emissionskontrollgesetzgebung korrespondierende Progression der durchgeführten Emissionstests drückt sich in folgenden Zahlen aus: 1968:  $\approx 1800$  Tests, 1974:  $\approx 4.600$  Tests, 1980:  $\approx 14.100$  Tests, (ohne Partikel- und Verdunstungstests), wovon für 1980 die anteilmäßige Aufgliederung auf die verschiedenen Länder wie folgt gilt: Japan-Test:  $\approx 3,8$  %; Europa-Tests:  $\approx 23,8$  %; US-Tests:  $\approx 72,5$  % (in letzterer Gruppe sind auch Schweden- und Australientests einbezogen).

#### 5.2.3.4 Korrelationsprogramme zwischen den Zertifikationstest-Labors des Automobilherstellers und den Behörden-Labors

Trotz einer aufgrund der im vorigen Kapitel dargestellten Arbeiten erreichten Zulassung des herstellereigenen Labors ist noch keineswegs garantiert, daß die instrumentell/verfahrenstechnische Übereinstimmung mit dem Gesetz oder dem Behördenlabor auch

gleiche Emissionstest-Ergebnisse liefert. Allein Korrelationsprogramme sind in der Lage, diese Vergleichbarkeit zu bestätigen, oder Abweichungen zu erfassen. Letztere können dann entweder als "Vorhaltewert" berücksichtigt werden, oder - wie es technisch richtig wäre - durch Nachforschungen, spezielle Meßmethoden etc. in ihrer Ursache entdeckt und beseitigt werden.

Vor Beginn von Zertifikationsverfahren, die z. B. im Falle von USA, Japan und Schweden Nachprüfungen der Zulassungsfahrzeuge in den entsprechenden Behördenlabors dieser

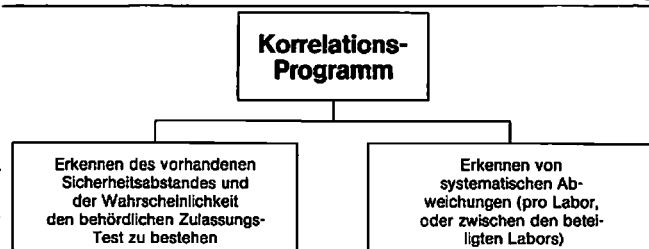


Bild III.5-29: Ziele eines Korrelationsprogramms

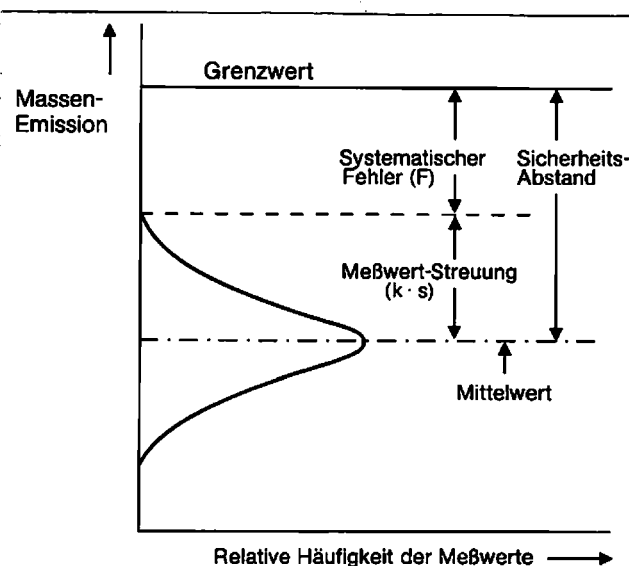


Bild III.5-30: Streuung der Meßwerte, nicht erkannte systematische Fehler und Sicherheitsabstand, bei Nachprüfung durch  $n = 1$  Messung, nach [754].

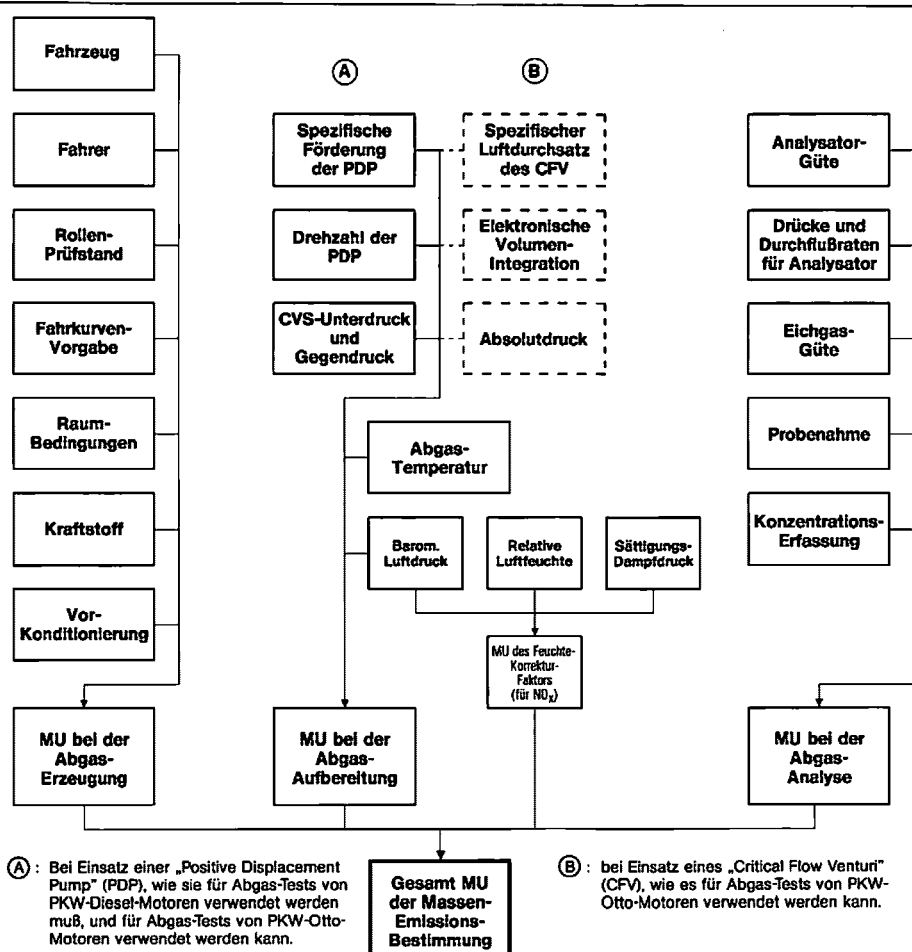
jeden Modelljahres mit neuer Abgasreinigungstechnologie (Verteilungsfunktion der Meßwerte dieses Systems noch unbekannt) oder bei geänderter Meß- oder Verfahrenstechnik erforderlich.

Hierbei muß jedoch eingeschränkt werden, daß es sich in der Praxis bei solchen Programmen oft nicht um Korrelationen in streng statistischem Sinn, sondern mehr oder weniger um die Durchführung sehr komprimierter vergleichender Messungen mit all ihren bleibenden Unsicherheiten handelt. Zeit- und Kapazitätsprobleme in den beteiligten Labors machen die statistisch gesehen erforderliche Feststellung der wahren Emissions-(mittel)werte des Prüffahrzeuges und das Erkennen von systematischen Fehlern oft unmöglich. Da sich aber trotzdem für derartige Versuche das Wort Korrelation eingebürgert hat, soll es im folgenden - eingedenk der obengenannten Einschränkungen - beibehalten werden.

Länder einschließen, muß sich der Automobilhersteller also eine Abschätzung der Bestehens-Chance seiner Testfahrzeuge und des vorhandenen oder einzuhaltenden Sicherheitsabstandes ermöglichen. Diese Zielsetzung eines Korrelationsprogrammes ist in

Bild III. 5-29 gezeigt. Der Automobilhersteller kann dadurch das Risiko von Neu- oder Nachzertifikationen (durch überraschendes Nicht-Bestehen seiner Fahrzeuge im Behördenlabor) mit allen gravierenden Folgen für den geplanten Serienanlauf und die inzwischen mit neuen Aufgaben belegte Entwicklungskapazität auf ein Minimum reduzieren. Da die Wahrscheinlichkeit, den offiziellen Zulassungstest bei der Behörde zu bestehen, oder der zu diesem Zweck einzuhaltende Sicherheitsabstand - wie

Bild III. 5-30 zeigt - von systematischen und statistischen Fehlern abhängen, sind Korrelationsprogramme mindestens vor Beginn eines

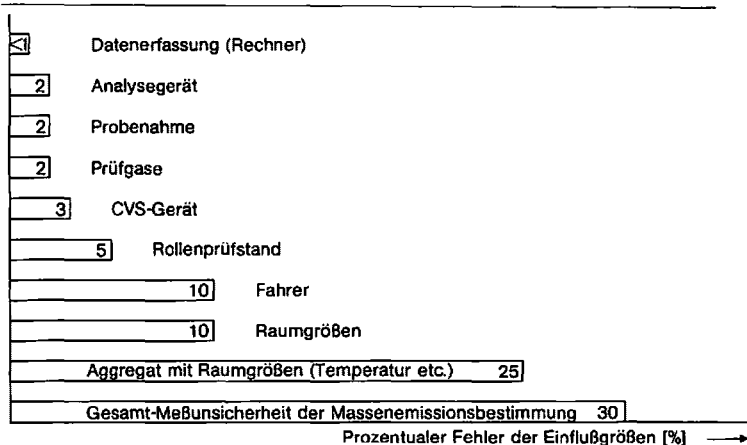


**Bild III.5-31:** Qualitative Zusammensetzung der Gesamt-Meßunsicherheit (MU) der „Federal Test Procedure“ – 1975 (FTP-75) aus den einzelnen Einflußgrößen, nach [755].

Bei der Betrachtung der in Bild III. 5-31 gezeigten, prinzipiell in einem Meßergebnis möglichen Unsicherheiten und der in Bild III. 5-32 dargestellten Größenordnung verschiedener Einflüsse auf die Gesamtstreuung des Meßergebnisses, erscheint es zunächst als unwahrscheinlich, mit der zuvor beschriebenen Vergleichsmessung überhaupt ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Da sich die möglichen Meßunsicherheiten aber nicht rein additiv auswirken, kann in der Praxis selbst bei statistisch gesehen unzureichender Testzahl eine hilfreiche Aussage gemacht werden.

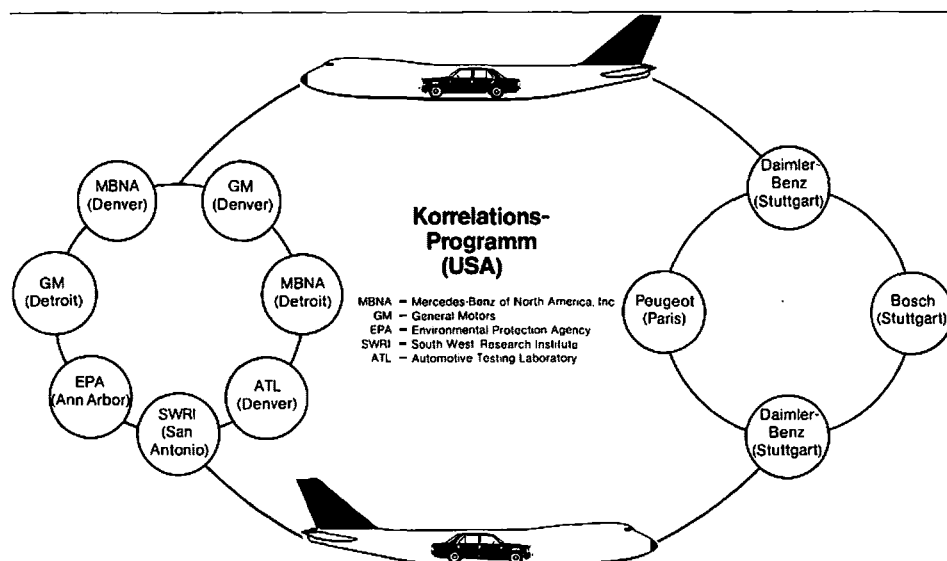
Die Durchführung eines Korrelationsprogrammes verläuft bei allen Automobilherstellern etwa gleich und kann durch folgendes Schema dargestellt werden: Im Herstellerwerk erfolgt der Aufbau eines Fahrzeuges, das mit den für die geplante Serienproduktion vorgesehenen Emissionskontrollsystemen ausgerüstet ist. Zu den bei derartigen Fahrzeugen verwendeten Meßeinrichtungen gehörten in Korrelationsprogrammen zwischen Labors der Daimler-Benz AG und der US-EPA teilweise auch Geräte zur Erfassung folgender zusätzlicher Parameter, deren Aufzeichnung die Auswertung der vergleichenden Abgas-tests erleichtern sollte:

- Motordrehzahl
- echte Fahrgeschwindigkeit
- Motoröltemperatur
- Ansauglufttemperatur
- Luftanströmung durch Fahrtwindgebläse
- Saugrohrunterdruck ( $\approx$  Motorbelastung bei Otto-Motoren)
- Regelstangenweg ( $\approx$  Motorbelastung bei Diesel-Motoren).
- Drehmoment in Kardanwelle oder Antriebsrädern (ersetzt seit 1979 die Messung von Saugrohr-Unterdruck oder Regelstangenweg; siehe dazu auch Kap. 5.3.6.9)



**Bild III.5-32:** Quantitative Zusammensetzung der Gesamt-Streuung von Massenemissionsmessungen aus den einzelnen Einflußgrößen, nach [758].

hintereinander am gleichen Tag möglich und durch Entfall des Motorkaltstarts mit dazugehörigem Warmlauf wird die Streuung des Meßresultates ebenfalls geringer. Zusätzlich werden alle Tests mit demselben Fahrer durchgeführt, so daß auch diese - oft erhebliche - Streuungsursache ausgeschaltet wird. Durch zusätzliche Messung von Abgaskonzentrationen in konstanten Geschwindigkeitsphasen und Messung der Motor-Rohemissionen vor der Nachverbrennungsanlage (z. B. Katalysator) vervollständigt sich das "Emissions-Bild" des Korrelationsfahrzeuges.



**Bild III.5-33:** Aufwand zum Zwecke eines Laborvergleichs als Zertifizierungsvorbereitung, dargestellt am Beispiel eines Daimler-Benz Korrelationsprogramms zwischen 4 europäischen und 7 amerikanischen Diesel-Testanlagen im November 1977.

von der Behörde anerkannte Meßstation, die zur Absicherung der Zertifikationsverfahren eingerichtet wurde (z. B. für Nach-Versand-Tests von Zertifikationsfahrzeugen zur Überprüfung auf Versandschäden, Durchführung von während der Zertifikation anfallenden "running-change" Tests etc.). Nach Abschluß der Tests in diesem Zweitlabor und eventuell in weiteren Labors anderer Automobilhersteller erfolgen die entscheidenden Vergleichstests im Behördenlabor oder auch in neutralen Vertragslabors der Behörden mit anschließendem Rücktransport des Fahrzeuges ins Herstellerwerk zur Nachmessung im Ausgangslabor. Der Ablauf eines solchen zeit- und kostenaufwendigen Korrelationsprogrammes ist in Bild III. 5-33 am Beispiel einer USA-Korrelation von

Bei den zunächst auf den Zertifikations-Testanlagen (gegebenenfalls auch auf Entwicklungs- und Serienkontrollprüfständen) des Herstellers erfolgenden Abgastests und Zusatzmessungen gilt es, möglichst viele Tests in kurzer Zeit zu absolvieren, um Streuungsursachen für das Testresultat zu reduzieren. Durch das Fahren von Heißstarttests anstelle des bei der Zulassung geforderten Kaltstarttests sind mehrere Tests

Nach Abschluß der Tests beim Automobilhersteller erfolgt Flug-Versand in die USA, um schnellstmöglich die vergleichenden Anschlußtests fahren zu können. In den USA wird im Hersteller-Zweitlabor (falls ein solches existiert, wie z. B. bei VW und Daimler-Benz) das gleiche Testprogramm wiederholt. Dieses Labor ist ebenfalls eine offiziell



Daimler-Benz symbolisch dargestellt.

Die *Auswertung eines Korrelationsprogrammes* wird in der Praxis dann besonders wichtig, wenn sich deutliche Abweichungen zwischen den Testresultaten von Hersteller- und Behördenlabor zeigen. Der Ansatz zur Erforschung der Abweichungsursachen richtet sich hierbei z. B. nach der Schadstoffkomponente, die ein unterschiedliches Meßresultat gezeigt hat. So können HC-Differenzen bei Tests an Otto- und an Diesel-Motoren in der Bauart des Emissions-Analysegerätes oder bei einer Diesel-Testanlage im beheizten Leitungssystem bedingt sein, wogegen  $\text{NO}_x$ - oder  $\text{CO}_2$ -Probleme oft auf Diskrepanzen in der Rollenprüfstandsbelastung hindeuten. Hierbei ist eine Diskrepanz der  $\text{CO}_2$ -Messung nicht aus Emissionsgründen interessant, sondern führt - da der Kraftstoffverbrauch in den USA aus dem Abgastestergebnis und hier besonders aufgrund des  $\text{CO}_2$ -Wertes im Abgas berechnet wird - zu Abweichungen der Kraftstoffverbrauchs-Aussage des Tests.

Letzteres war einer der entscheidenden Gründe dafür, daß Daimler-Benz mit der in Kap. 5.3.6.9 näher beschriebenen Drehmoment-Methode ein Verfahren entwickelt hat, das es nicht nur erlaubt, den Rollenprüfstand exakt, reproduzierbar und einheitlich einzustellen, sondern ihn auch als mögliche Fehlerquelle im Rahmen eines Korrelationsprogrammes aufzuspüren und auszuschalten. Ein Korrelationsprogramm ohne drehmomentmäßige Erfassung des Prüfstandseinflusses muß als unbefriedigend, wenn nicht gar als wertlos, bezeichnet werden, da gerade bei der Kraftstoffverbrauchsmessung unbedingt eine exakte Kenntnis der Rollenprüfstandsübereinstimmung vorliegen muß.

Leider verhindern begrenzte Testkapazität (besonders im Behördenlabor) exakte Auswertungen mit statistischen Verfahren (z. B. Varianzanalyse). Man ist daher im wesentlichen auf die Erfahrung und Geschicklichkeit der Korrelationsmannschaft angewiesen, um bei den stets nur begrenzt vorliegenden Daten Fehler aufzuspüren.

#### 5.2.4 Zusätzliche Aufgaben zur Sicherstellung der Zertifikation: Vorbereitende und flankierende Maßnahmen zur Zertifikation im Bereich der Gesetzgebung

Wie schon einleitend zu Kap. 5.2.3 erwähnt, beinhaltet der Begriff "Zertifikation" weit über die direkt mit dem Erwerb der Verkaufszulassung verbundenen Arbeiten hinausgehende Tätigkeiten. Außer an den im vorigen Kapitel behandelten Aufgaben zur Schaffung der technischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Zulassungsarbeit muß der Zertifikationsbereich eines Automobilherstellers auch bei der Erarbeitung der gesetzlichen Grundlagen für die später auch von ihm selbst zu bewältigenden Aufgaben und Schwierigkeiten mitwirken. Formen der letztgenannten Tätigkeit sind das Anfertigen von "Status Reports", Eingaben und Stellungnahmen zu bestehenden oder in der Diskussion befindlichen Gesetzen sowie das direkte Gespräch mit dem Gesetzgeber z. B. anlässlich von "Hearings".

5.2.4.1 Indirekte Gesetzesbeeinflussung durch Berichterstattung über den Entwicklungsstand des Automobilherstellers auf dem Gebiet der Emissionskontrolle in Form von "Status Reports".

Ein wesentlicher Bestandteil der zertifikationsvorbereitenden Arbeiten auf der Gesetzeseite entfällt auf Bemühungen des Automobilherstellers im Rahmen der von der EPA ganzjährig geforderten "Status Reports" (oder der "Semi-Annual Reports" für das kalifornische ARB). In diesen "Status Reports" muß der Hersteller detailliert über

Section	Geforderte Informationen
I	<b>Ziele und Meilensteinpläne für Entwicklungsprogramme zum Erreichen künftiger Grenzwerte:</b> Zeitliche und technologische Zielsetzungen; Forschungs-, Entwicklungs-, Zertifizierungs- und Produktionsmeilensteinpläne auf dem Weg zum Erreichen künftiger Emissionsstandards sind anzugeben und zu erläutern (z. B. Terminfestlegung, wann ein Prototypensystem als serienmäßig produzierbar angesehen wird, welche Konstruktions-, Funktions- und Haltbarkeitskriterien bei der Entwicklung zugrundegelegt werden; wann erfolgt Übergang von Forschungs- auf das Vorentwicklungs- und schließlich auf das Serienentwicklungsstadium; wann müssen Verträge mit Lieferanten geschlossen werden; wann müssen maschinelle Einrichtungen entschieden und beschafft sein, um die Produktion des neuen Systems aufnehmen zu können etc.)
II	<b>Entwicklungs- und Testprogramme:</b> Für jedes der folgenden Entwicklungsgebiete (Abgasreinigung, Verdunstungsemissionskontrolle, Emissionskontrolle unter Höhenbedingungen, Einstellbegrenzungen für Komponenten des Emissionskontrollsystems, Fahrbarkeit, Verringerter Wartungsaufwand, Kraftstoffverbrauchseinsparung) sind detaillierte Beschreibungen zu geben, z. B. Systembeschreibung des „first choice“- und aller sonst noch untersuchten Systeme, mit Zeichnungen und Fotos für Systeme und Untersysteme, Arbeiten auf dem Gebiet der elektronischen Beeinflussung von emissionsrelevanten Parametern, Diskussion der Arbeiten zur System-Optimierung, Beschreibung der Arbeiten, die keinen Erfolg hatten, Beschreibung der eingegangenen Kompromisse mit Begründung (z. B. zwischen Emissionskontrolle, Kosten, Verbrauch, Fahrbarkeit, Leistung, Haltbarkeit, Sicherheit, Geräusch, Kraftstoffqualität etc.); Betrachtung der Interaktion zwischen Kontrolle der Auspuff- und Verdunstungsemissionen; Entwicklungsarbeiten und -ziele zum Erreichen der notwendigen Emissionskontrolle auch unter Höhenbedingungen; Entwicklungsprogramme für Systeme, die den Einfluß von Verstellungen an Bauteilen auf die Emissionen reduzieren oder die Einstellbarkeit selbst vermindern; Interaktion von Fahrbarkeit und Emissionskontrollsystem besonders hinsichtlich absichtlicher oder unabsichtlicher Fehleinstellungen; Komplette Beschreibung des Entwicklungsprogramms zur Reduzierung von Wartungsarbeiten, Diskussion der Programme zur Verbesserung des Kraftstoffverbrauchs wie z. B. Gewichtserleichterungen, Erhöhung des Leistungsgewichts, Arbeiten am Triebstrang, Getriebemodifikationen, Wirkungsgradverbesserung der Motoren etc. Bezüglich der noch nicht limitierten Schadstoffe Partikeln (Masse, Zusammensetzung, Größenverteilung), Nickel, Kobalt und andere Spuren metalle, Stickstoffverbindungen (Amine, NH <sub>3</sub> , HCN, Nitrosamine), Schwefelverbindungen (H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, COS, organische Schwefelverbindungen), PNA's, HC-Zusammensetzung, Aldehyde, Reifenabrieb, Asbest, Geruch sind alle verfügbaren Testergebnisse zu liefern auch bei Verwendung verschiedener Kraftstoffe, und bei Fehlfunktion des Motors und bei den verschiedensten Emissionskontroll-Konzepten. Bezüglich Alternativantriebe werden komplette Diskussionen der Arbeiten des Automobilherstellers auf folgenden Gebieten gefordert: Diesel-Motoren, Schichtlademotoren, Gasturbine (Brayton-Zyklus), Rankine-Zyklus-Motoren, Stirling-Motoren, Hybrid-Antriebe, Elektroantriebe einschließlich deren Kraftstoffverbrauchspotentiale und Emission noch nicht begrenzter Schadstoffe.
III	<b>Versuchsergebnisse:</b> Tests am kompletten Fahrzeug in der FTP-75, dem Highway-Zyklus sowohl für Prototypen und Dauerlauffahrzeuge, Vergleiche verschiedener Kraftstoffe (MMT-, Schwefel-, Phosphor-, Blei-Varianten), Katalysator-Wirksamkeitstests, Einflüsse von Reifenbauart, -typ, -druck auf Kraftstoffverbrauch und Emissionen; Einfluß von Getriebebeschalt-punkten, Motorölen; Gründe für abgebrochene Dauerlaufprogramme; Fahrbarkeitstests; Informationsaustausch mit anderen Firmen; Ergebnisse von Tests unter „NON FTP“-Bedingungen; Kraftstoffverbrauchsangaben in allen untersuchten Fahrzyklen; Tests außerhalb des Fahrzeugs (auf Motor- oder Teileprüfständen) z. B. Kraftstoffverunreinigungen und Katalysator-haltbarkeit, Umgebungsbedingungen und elektronische Ausrüstung; Informationen, die von Fremdfirmen besorgt wurden.
IV	<b>Kostenangaben:</b> Kosten der Komponenten des Emissionskontrollsystems; Produktionsvolumen und Anteile verschiedener Zulieferanten, Marktanteil dieser Lieferanten, Methoden zur Kostenkalkulation und Preisgestaltung; Betriebskosten für den Kunden (Zusatzkosten bei emissionskontrollierten Fahrzeugen für Öl, Kraftstoff, Wartung, Katalysatorwechsel etc.)

Bild III.5-34: Umfang der jährlich an die US-EPA einzureichenden „Status Reports“ am Beispiel der „Report Outline“ für den 1977/78er Bericht. Die Erfassung der genannten Informationen diente der EPA zur Beurteilung der Bemühungen und Fortschritte von allen in den USA verkaufenden Automobilherstellern, die in den 1977er „Clean Air Act Amendments“ geforderten Emissionsgrenzwerte für die Modelljahre 1979 bis 1981 und folgende zu erreichen, nach [759].

seine Bemühungen Auskunft geben, künftige (schon verabschiedete oder erst vorgeschlagene) Emissionskontrollgesetze zu erfüllen. Der Umfang ist, wie bei allen an US-Behörden einzureichenden Informationen, erheblich, wie aus der komprimierten Übersicht in Bild III. 5-34 zu ersehen ist. Die EPA wertet die "Status Reports" der Hersteller z. B. nach Kriterien aus wie:

- erreichter technologischer Status
- bestes erreichtes Emissionsniveau
- spezielle Probleme fortgeschrittener Technologien
- Kosten

und berichtet zusammenfassend für die gesamte Automobilindustrie an den Kongreß. Hier wird die von der EPA erhaltene Information direkt als "input" für die Erarbeitung kommender Gesetze verwendet, die dann wiederum vom einzelnen Automobilhersteller erfüllt werden müssen. Es ist daher logisch und optimal, wenn der Zertifizierungsbereich des Automobilherstellers in den "Status Reports" versucht, der Behörde ein möglichst realistisches Bild der firmenspezifischen Gegebenheiten darzustellen, damit er die später folgende Gesetzgebung mit seinen Zertifizierungsanstrengungen auch er-

folgreich bewältigen kann.

#### 5.2.4.2 Direkte Gesetzesbeeinflussung durch Teilnahme an "Hearings"

Auch die "Hearings" dienen - nur noch direkter als die "Status Reports" - der Erfassung hersteller-individueller Möglichkeiten im Hinblick auf bevorstehende Emissionskontrollgesetze. Daimler-Benz hat seit über 10 Jahren an größeren und kleineren Hearings freiwillig oder aufgrund gesetzlichen Zwanges teilgenommen. Eine Übersicht über die wichtigsten Teilnahmen an solchen "Hearings" ist in Bild III. 5-35 gegeben.

Datum	Aussagen von	Aussagen vor	Hearing-Thema
14. 3. 1972	Uhlenhaut, R.	Panel on Environmental Science and Technology of the Subcommittee on Air and Water Pollution of the United States Senate Committee on Public Works, Washington, D.C.	Alternative (-low emission-) Antriebe zum Otto-Motor, speziell Aussagen zum PKW Diesel-Motor
10. 4. 1972	Uhlenhaut, R.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Aussagen aufgrund einer Subpoena zur technischen Machbarkeit der 1975er HC- und CO-Standards
28. 2. 1973	van Winsen, F.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Aussagen aufgrund einer Subpoena zu den 1975er HC- und CO-Standards
20. 3. 1973	van Winsen, F.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Aufschub der 1975er HC- und CO-Emissionsgrenzwerte
18. 5. 1973	van Winsen, F.	Subcommittee on Air and Water Pollution of the United States Committee on Public Works, Washington, D.C.	Aussagen zum Einsatz des Diesel-Motors als Ersatz für den Otto-Motor hinsichtlich der 1975er HC- und CO-Standards
20. 6. 1973	van Winsen, F.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Aufschub der 1975er Emissionsgrenzwerte für HC und CO um 1 Jahr
25. 6. 1973	von Manteuffel, P.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Realisierbarkeit der 1975er HC- und CO-Standards, Aussagen speziell zum Einsatz des Diesel-Motors mit Comprex-Lader sowie zu Otto-Motoren mit Platin- und Rhodium-Katalysatoren
22. 5. 1974	Obländer, K.	National Academy of Sciences, Committee on Motor Vehicle Emissions, Washington, D.C.	Technologische Realisierbarkeit der vom US-Clean Air Act geforderten Emissionswerte
24. 1. 1975	van Winsen, F.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Aussagen aufgrund einer Subpoena zum Thema des (von Daimler-Benz nicht beantragten) Aufschubs der 1977er HC- und CO-Standards um 1 Jahr
20. 3. 1979	van Winsen, F.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Erstmalige Festlegung von Partikel-Emissionsgrenzwerten für PKW mit Diesel-Motoren
18. 6. 1979	van Winsen, F.	United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.	Aufschub des 1982er NO <sub>x</sub> -Emissionsgrenzwertes für PKW mit Diesel-Motoren
27. 8. 1980	Obländer, K.	California Air Resources Board: (Staff Meeting) El Monte, Kalifornien	Aufschub des 1981er kalifornischen NO <sub>x</sub> -Grenzwertes der 100000-Meilen-Dauerlauf-Option bei Anwendung auf PKW mit Diesel-Motoren
28. 8. 1980	Obländer, K.	California Air Resources Board: (Board Meeting) Sacramento, Kalifornien	Aufschub des 1981er kalifornischen NO <sub>x</sub> -Grenzwertes der 100000-Meilen-Dauerlauf-Option bei Anwendung auf PKW mit Diesel-Motoren

**Bild III.5-35:** Hearings und Meetings bei US-Behörden, in denen Daimler-Benz über den Stand der eigenen Emissionskontrolltechnologie berichtet, sowie um sinnvolle Festlegung oder notwendigen Aufschub von HC-, CO-, NO<sub>x</sub>- und Partikel-Grenzwerten für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren gebeten hat.

"Hearings" sind zwar eine ausgezeichnete Möglichkeit, das hierfür (ähnlich wie bei den "Status Reports") zusammengestellte Material in direktem Gespräch mit Behördenvertretern (EPA) Senatoren (z. B. Mr. Muskie) oder wissenschaftlichen Gremien (z. B. National Academy of Science) zu vertreten, der Aufwand für ein solches Hearing kann jedoch finanziell und zeitlich enorm sein. Dies soll am Beispiel des "Diesel-NO<sub>x</sub> Hearings" vom Juni 1979 vor der US-EPA in Washington D.C. verdeutlicht werden.

Zunächst sei an diesem typischen Beispiel in Bild III. 5-36 das behördlicherseits als Informationsgrundlage geforderte Material zusammengestellt. Da sich die Fragen zu einem großen Teil auf gesundheitliche Auswirkungen einer weiteren Verdieselung des amerikanischen Marktes bezogen, wobei zahlreiche US-spezifische input-Daten benötigt wurden, schaltete Daimler-Benz zur Bearbeitung dieses Teiles der Hearing-Eingabe eine

Section	Geforderte Informationen
I	Identifikation des Antragstellers als Hersteller und Identifikation weiterer an Herstellung und Vertrieb Beteiligter; Zusammenfassung der Position des Antragstellers und Argumente zu den 4 Kriterien: Waiver gefährdet nicht die öffentliche Gesundheit; Waiver führt zu deutlicher Kraftstoffersparnis; die Technologie birgt die Möglichkeit eines Langzeit-Luftqualitäts-Gewinns; nach Waiver-Ablauf wird ebenfalls noch hohe Fuel Economy erreicht; Hersteller soll die für erreichbar gehaltenen Grenzwerte nennen.
II	Beweis erbringen, daß Diesel-Fahrzeuge die gesetzlichen Grenzwerte von 0.41 g HC/m, 3.4 g CO/m und 1.0 g NO <sub>x</sub> /m nicht erfüllen können, und daß künftige Systeme, die eine Erfüllung ermöglichen, im Waiver-Zeitraum nicht eingesetzt werden können. Gefordert: Darlegung sämtlicher Forschungs- und Entwicklungsprogramme auf dem Gebiet der Emissionskontrolle für Diesel-Motoren und zwar in zwei Teilen: a) allgemeine Information (erreichtes Emissionsniveau mit allen untersuchten Konzepten, Entwicklungsziele für Prototypen, Faktoren für Produktionsschwankungen und Unterschied Prototyp/Serie, Hauptprobleme wie Kraftstoffverbrauchserhöhung, Verschlechterung der Leistung und Fahrbarkeit, Emission von bisher nicht begrenzten Schadstoffen, Kosten-, Sicherheits-, Wartungs- und Garantie-, Werkzeug- und Verkaufsprobleme). Anstrengungen an Fremdentwicklungen zu berücksichtigen; Zeitpläne und Konsequenzen übereilter Entwicklungen; Nennung der für jedes individuelle Modelljahr von 1981 bis 1984 für erreichbar gehaltenen „Interims“-Werte (jedoch max. zulässig: 0.41 HC/m, 3.4 g CO/m, 1.5 g NO <sub>x</sub> /m) sowie Kostenvergleich zwischen den Fahrzeugen, die Interims-Werte erfüllen und solchen, die 1.5 g NO <sub>x</sub> /m erfüllen und b) technische Informationen (detaillierte Beschreibung von Fahrzeugen, Motoren, angewandeten Testverfahren, erreichten Emissionswerten aus Emissionstest- und Dauerlauffahrzeugen; geplanter Eindringungsgrad leichter Diesel-Motoren in den US-Markt während des Waiver Zeitraums; Angaben über Kapitalplanung und Produktionsprozesse zur Einführung von Diesel-Motoren und Konsequenzen einer Waiver-Ablehnung; Einfluß einer Waiver-Ablehnung auf allgemeine Entwicklungsprozesse des leichten Diesel-Motors, Einfluß der Verkündung eines Partikel-Standards oder sonstiger gesetzlicher Aktionen; Kosten- und Wirtschaftlichkeitsseinfluß einer möglichen Waiver-Ablehnung).
III	Beweis erbringen, daß die Genehmigung eines erleichterten NO <sub>x</sub> -Standards die öffentliche Gesundheit nicht gefährdet; Detaillierter Unterschied der gesundheitlichen Auswirkungen bei einem 1.0 g NO <sub>x</sub> /m- und dem vom Antragsteller vorgeschlagenen „Interims“-Grenzwert (max. 1.5 g NO <sub>x</sub> /m); Detaillierte Analyse des Gesundheitseinflusses von noch nicht begrenzten Schadstoffen des Diesel-Motors; Vergleich von Fahrzeugen mit Diesel-Motoren, die die „Interims“-Standards erfüllen mit Otto-Motor-Fahrzeugen, die die gesetzlichen Standards erfüllen bezüglich Gesundheitsbeeinflussung; Section III gliedert sich hauptsächlich in zwei Teile: a) Einfluß erhöhten NO <sub>x</sub> -Ausstoßes bei „Waiver“-Genehmigung (Einfluß der Änderung des Gesamt-NO <sub>x</sub> -Ausstoßes, sowie Einfluß unterschiedlicher Anteile von NO und NO <sub>2</sub> , da Diesel-NO <sub>x</sub> -Emissionen in einem viel höheren Prozentsatz NO <sub>2</sub> enthalten als Emissionen von Otto-Motoren und außerdem das NO/NO <sub>2</sub> -Verhältnis bei Diesel-Motoren von System zu System deutlicher variieren kann als bei Otto-Motoren; Mit den geplanten Verkaufsstückzahlen ist eine Luftqualitätsstudie zu erarbeiten, wobei NO <sub>2</sub> bezüglich seiner Wirkung auf das Oxidantien-Niveau, auf das jährliche NO <sub>2</sub> -Niveau, auf das Kurzzeit-NO <sub>2</sub> -Niveau, auf NO <sub>x</sub> -Spitzen an Autostraßen zu betrachten ist; Modelle und Modellstädte nennen) und b) Gesundheitsbelastung durch nicht begrenzte Emissionen (Erarbeitung von Daten über Nitrosamine, Partikel, Aldehyde, Phenole, B(a)P, gasförmige organische Stoffe, organische Stoffe von Partikeln extrahiert, Sulfate; Verarbeitung der Daten in einer Luftqualitätsstudie; Ergebnisse von „in vitro bioassay/short term screening tests“ (Kurzzeit-Zellversuche) und Voll-Tier-Studien („in vivo tests“); Beschreibung epidemiologischer Studien und aller laufenden relevanten Forschungen).
IV	Beweis erbringen, daß Ausnahmegenehmigung zu bedeutenden Kraftstoffverbrauchsvorteilen führt; Antrag muß zeigen, daß jeder „Base Level“ (Grundtyp) eines Fahrzeugmodells, für das ein Antrag gestellt wird, die für das Antragsjahr gültigen Verbrauchsnormen erfüllen kann. Verbrauchs-Vergleich der Szenarien a) für die gewählten Interimsstandards werden Diesel-Fahrzeuge eingesetzt, b) es werden Diesel-Fahrzeuge eingesetzt, die die gesetzlichen (d. h. die nicht erleichterten Grenzwerte) erfüllen, c) es werden Otto-Motor-Fahrzeuge eingesetzt, die die gesetzlichen Standards erfüllen; Verbrauchsdaten sowohl im City- wie auch im Highway-Test; Daten über Auswirkung der Waiver Entscheidung auf die Flotten-zusammensetzung.
V	Dieser Abschnitt soll ausreichende Informationen liefern, um zu zeigen, daß die Technologie, die in der Klasse Fzge., für die ein „Waiver“ beantragt wird, Anwendung findet; a) die Möglichkeit zur Langzeit-Luftqualitätsverbesserung hat und b) die Möglichkeit hat, die Verbrauchsgrenzwerte nach Ablauf des „Waiver“ zu erfüllen. Langzeit-Luftqualitätsverbesserung wird angenommen, wenn Fzg. nach „Waiver“-Ablauf den gesetzlichen NO <sub>x</sub> -Standard von 1.0 g/m erreicht und wenn NO <sub>2</sub> am Auspuffende sowie die Partikelemissionen und die Emissionen noch nicht limitierter Schadstoffe nicht ansteigen. Hier soll eine Diskussion über Aldehyde, Phenole, B(a)P, Sulfate und Nitrosamine enthalten sein. Weiter ist zu zeigen, daß es der Einsatz der Diesel-Technologie ermöglicht, daß nach „Waiver“-Ablauf die Verbrauchsnormen von jedem Grundtyp erfüllt werden und der Flottenverbrauchs-Sollwert erreicht wird.

**Bild III.5-36:** Umfang der „NO<sub>x</sub>-Waiver Outline“, d. h. der Aufforderung der US-EPA an die Automobilhersteller (die eine Ausnahmegenehmigung vom gesetzlichen NO<sub>x</sub>-Grenzwert für Modelljahr 1981 von 1.0 g/m für den Zeitraum von Modelljahr 1981 bis 1984 für ihre Fahrzeuge mit Diesel-Motor beantragen wollten) zur Begründung ihres Antrages und als Grundlage für die „NO<sub>x</sub>-Suspension Hearings“ vom Juni 1979 in Washington D. C., nach [760].

US-Firma ein (EEA = Environmental Analysis Inc., Washington D.C.). Die vorbereiteten Arbeiten für das obengenannte Hearing dauerten mit den entsprechenden Abstimmungsgesprächen zur EEA, zur US-Tochtergesellschaft und einem Anwaltsbüro in Washington ≈ 6 Monate, die Kosten ohne herstellerinterne Vorbereitungsaktivitäten beliefen sich auf ≈ 200.000 US \$.

Da das Hearing entscheidend für den Fortbestand des Pkw mit Diesel-Motor auf dem US-Markt war, erbrachte die Daimler-Benz AG nicht nur den obengenannten finanziellen Aufwand, sondern hielt es auch für erforderlich, die Vertretung ihres Standpunktes vor der EPA direkt von der Entwicklungsleitung wahrnehmen zu lassen. Fachliche Unterstützung von der Motorenversuchsleitung, von Fachbereichen der Entwicklung und der Forschung sowie des Zertifizierungsbereiches und anwaltliche Hilfestellung bei gesetzlichen Interpretationen vervollständigten den außergewöhnlichen Einsatz zur Erhaltung der Verkaufsfähigkeit der zur Zeit wirtschaftlichsten Antriebsquelle für Pkw.

Als Ergebnis dieses Hearings wurde der NO<sub>x</sub>-Standard von dem (zumindest in der Kombination mit einem 0.6/0.2 gpm Partikel-Standard) nicht erfüllbaren 1.0 g/m-Wert bis einschließlich Modelljahr 1982 für alle Daimler-Benz Fahrzeuge erleichtert (und zwar auf 1.5 g/m für die 5-Zyl/3 l- Motoren und auf 1.25 g/m für den 4-Zyl./2.4 l Motor). Damit konnte Daimler-Benz seine Pkw-Diesel-Modelle sicher zertifizieren und hatte Zeit gewonnen, sich dem Problem einer weiteren Absenkung der Partikel-Emission bei diesen Fahrzeugen zu widmen [761].

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß die vom EPA-Administrator gewährte Atempause bei der  $\text{NO}_x$ -Gesetzgebung hauptsächlich aus folgendem Grund gegeben wurde: Man schätzte seitens der Behörde die möglichen gesundheitlichen Gefahren steigender Partikel-Emissionen in den kommenden Jahren höher ein, als das bei erleichterten  $\text{NO}_x$ -Grenzwerten entstehende Risiko. Hätte die EPA nämlich den ursprünglichen Plan zur  $\text{NO}_x$ -Absenkung nicht aufgeschoben, wäre die Automobilindustrie gezwungen gewesen, die einzige derzeit zum Erreichen von  $1.0 \text{ gNO}_x/\text{m}$  verfügbare Abgasreinigungstechnologie einer massiven Abgasrückführung (EGR) einzusetzen. Die heutigen EGR-Systeme sind aber noch nicht so weit entwickelt, daß sie - besonders bei den für einen  $1.0 \text{ gNO}_x/\text{m}$ -Wert notwendigen großen Massenströmen rückgeführten Abgases ohne einen Anstieg der Partikel-Emission arbeiten könnten. Steigende Partikel-Emission würde jedoch einen Anstieg der Gesamtemissionen angelagerter Kohlenwasserstoffe in die Atmosphäre bewirken, den die EPA wegen der noch unklaren Gesundheitsfragen im Zusammenhang mit diesen Stoffen unbedingt vermeiden wollte.

#### 5.2.4.3 Beweisführung gesetzeskonformer Zertifizierungsaktivitäten anlässlich behördlicher Kontrollbesuche beim Automobilhersteller

Behördliche Kontrollbesuche finden sowohl zur Inspektion der Serienkontrollaktivitäten wie auch der Zertifizierungsverfahren eines Automobilherstellers statt. Die Zertifizierungskontrollen sind schärfer und bei Fehlerrückmeldung von größerer Tragweite als die Inspektionen in der Serie. Letztere beschränken sich im wesentlichen auf eine Kurzprüfung der Meßeinrichtung, die Überprüfung von Teilenummern aller emissionsrelevanten Bauteile des Fahrzeuges mit den Zertifizierungsunterlagen und die Testdurchführung. Bei negativem Ausgang einer Serienkontrolle konzentrieren sich die Folgen ohnehin auf den Zertifizierungsbereich, so daß an dieser Stelle exemplarisch die Kontrollbesuche im Zertifizierungsbereich diskutiert werden sollen.

Der "Clean Air Act" sieht im "Title II" (Sec. 206 und Sec. 208) die Möglichkeit vor, daß Beamte der US-EPA zu jeder Zeit nach kurzfristiger Voranmeldung (24 Std.) jedem in den USA verkaufenden Automobilhersteller Inspektionsbesuche abstatten dürfen. Hierbei können die Inspektoren sämtliche im Zusammenhang mit den Zertifizierungs- oder Serienkontrollaktivitäten stehenden Arbeiten und Einrichtungen beobachten und besichtigen sowie Dokumente jeder Art einsehen und kopieren.

Eine derart weitgehende Gesetzgebung gibt es nur in den USA, in den übrigen in dieser Arbeit behandelten Abgasländern existiert nichts Vergleichbares. Auch die US-Behörden haben diese Tatsache erkannt und mit der in ihren Emissionskontrollvorschriften und deren rechtlichen Interpretationen üblichen Perfektion mögliche Komplikationen durch Konfrontation einer reinen US-Rechtssprechung mit nationalen Gesetzen anderer Länder umgangen. So zieht sich die US-EPA mit folgender Formulierung aus der Affäre:

"Automobilhersteller in Ländern, deren nationale Gesetzgebung die im "Clean Air Act" vorgesehenen Kontrollmöglichkeiten der US-Inspektoren nicht zuläßt, müssen ihre Zertifizierungs- und

Serienkontrollaktivitäten in Gebiete verlegen, in denen die US-Rechtsprechung Gültigkeit hat" {762}.

Diese Auflage gilt selbstverständlich nur dann, wenn die Nicht-US-Automobilhersteller Einwände gegen Section 206 des "Clean Air Act" erheben. Da in der Praxis aus verständlichen Gründen der einfachere Weg beschritten wird, hat noch kein außer-amerikanischer Hersteller das obengenannte "right of entry" (Recht auf Zutritt) prinzipiell abgelehnt, sondern den EPA-Inspektoren jederzeit Zutritt gewährt und sich den sehr weitgehenden Kontrollen unterworfen.

Gegen eine Kontrolle durch Behörden, deren Gesetze der Automobilhersteller ohnehin lückenlos erfüllen muß, ist auch an sich nichts einzuwenden: Die zur Durchführung der erforderlichen Tests nötigen Anlagen müssen vorhanden, die Abläufe und Qualität der Arbeiten - egal ob es sich um Serienkontrolle oder Zertifikationen handelt - müssen optimal sein, wenn der Automobilhersteller sicher sein will, daß die in den USA am fertigen Produkt nach den gültigen Gesetzen erfolgenden Nachprüfungen erfolgreich sein sollen. Dieser automatische Zwang zu gesetzeskonformer Tätigkeit erübrigt von der praktischen Seite her gesehen im Grunde jeden Kontrollbesuch.

Ganz anders wird die Situation jedoch aus Sicht der US-EPA beurteilt: Nach dem Grundsatz "keep the industry's feet to the fire" (Eric O. Stork, als "Deputy Assistant Administrator" der EPA, dessen Werk die Ausführungsbestimmungen der US-Emissionskontrollgesetzgebung weitgehend waren), kombiniert mit einem gewissen Mißtrauen gegen die Integrität von Wirtschaftsunternehmen im allgemeinen und der Automobilindustrie im besonderen (siehe dazu auch Teil II, Kap. 5: Der "Consent Decree" und in diesem Teil, Kap. 5.3.1.2: "Defeat Device"-Tests) genügt es der EPA nicht nur, daß ein Fahrzeug schließlich im Behördenlabor den Zertifikationstest besteht, oder die Serienproduktion die gesetzlichen Standards einhält. Die EPA besteht auf buchstabengetreuer Anwendung der gesetzlichen Vorschriften und verlangt über die obengenannten Erfüllungsnachweise hinaus, eine eigene Kontrolle über die lückenlose Dokumentation aller zum Erreichen dieses Zieles notwendig gewesenen Aktivitäten der Automobilindustrie.

Kann anläßlich eines Kontrollbesuches der US-Inspektoren die geforderte Dokumentation nicht lückenlos oder nicht glaubhaft erbracht werden, drohen dem Automobilhersteller behördliche Sanktionen, die vom Ermahnungsbrief bis zum Verkaufsverbot reichen können. Wird bei Durchsicht der Testunterlagen eines Zertifizierungsverfahrens beispielsweise eine nicht gesetzeskonforme Testabwicklung während des 50.000 Meilen Zulassungslaufes entdeckt, kann die EPA sogar ein bereits erteiltes Zertifikat zurückziehen und einen neuen 50.000 Meilen-Lauf fordern. Der Zeitverlust bis zum Wiedererhalt der Verkaufszulassung beträgt in diesem Fall  $\approx$  6 Monate. Hierbei ist noch angenommen, daß der gefundene Fehler unabsichtlich passierte. Findet der US-Inspektor eine willentliche Manipulation von Testdaten oder Ähnlichem, sind weitergehende Sanktionen (Hearings, Geldstrafen, Zivilstrafen für die Verantwortlichen) möglich.

Obwohl sich das während der hier diskutierten Kontrollbesuche herrschende Klima vom Kreuzverhör-Typ der ersten Besuche dieser Art (bei Daimler-Benz im Juni 1973 ) zu einem sachlichen Prüfungsgespräch entkrampft hat, muß unter den gegebenen Verhältnissen und eingedenk der obengenannten Folgen beim Automobilhersteller nach wie vor größter Wert auf gesetzeskonform abgewinkelte Zertifikationsverfahren sowie auf perfekte Dokumentation dieser Aktivitäten gelegt werden.

#### 5.2.5 Konsequenzen bei Fehlern im Zulassungsverfahren: Zertifikatsverweigerung am Beispiel "Ford"

Die Forderung nach buchstabengetreuer und integrierter Erfüllung der gesetzlichen Vorschriften sowie die im "Clean Air Act" vorgesehenen Sanktions-Möglichkeiten sind nicht nur von theoretischer Bedeutung. Am Beispiel der Ereignisse bei Ford aus dem Jahre 1972 sei gezeigt, daß (in diesem Fall selbst trotz freiwilligen Eingeständnisses eines begangenen Fehlers) die EPA nicht nur die "administration", sondern auch das "enforcement" des Gesetzes ernst nimmt.

Im April und Mai 1972 hatte Ford vier "Part II"-Anträge für Modelljahr 1973 - Fahrzeuge an die EPA eingereicht. Am 16. Mai 1972 zog Ford diese Anträge zurück,

"because top management had become aware that unauthorized maintenance had been performed (by test personnel) in the prototype vehicles tested for certification and that such maintenance had not been reported to EPA. The unauthorized maintenance invalidated the test results on the four engine families covered by the applications. Unauthorized maintenance was also performed on the eight other 1973 engine families for which Ford had almost completed certification testing and therefore the results of the tests on those engines were also invalidated" {763}.

Ford hatte in 442 Fällen unter den Zertifizierungsbedingungen als "unerlaubt" geltende Wartungsarbeiten an 26 Testfahrzeugen durchgeführt und der EPA nicht gemeldet. Am 19. Mai revidierte Ford die "Part I"-Anmeldung für eine der betroffenen Motorfamilien und arbeitete diese Wartungsarbeiten in den Zulassungsantrag ein. EPA wies den Antrag jedoch zurück, da 71 der 97 vorgenommenen Wartungspositionen innerhalb einer Zertifizierung nicht genehmigt werden konnten {764}.

Es wurde eine komplette Neuzertifizierung gefordert und Ford mußte 7 Millionen \$ Strafe zahlen {765}.

Da Ford den begangenen Fehler auf "lack of proper management control over certification" zuschrieb, fand am 23. Mai 1972 eine hausinterne Umorganisation statt, indem die Verantwortung für das Testen von Zertifizierungsfahrzeugen von der "Engine and Foundry Division" zum "Environmental and Safety Staff" verlagert wurde {766}.

Die Neuzertifizierung von 12 Motorfamilien und die damit verbundene Neudurchführung der dazugehörigen 50.000 und 4.000 Meilen-Läufe mit allen weiteren Arbeiten zu einem Zeitpunkt, da man den kurz bevorstehenden Verkauf der neuen Modelle bereits als ge-

sichert angesehen hatte (Ford hatte zum Zeitpunkt des Zertifikatrückrufs durch die EPA bereits etwa 22.000 Fahrzeuge gebaut, die den Händlern nicht zum Verkauf zur Verfügung gestellt werden konnten, sondern bis zum Abschluß der Zertifizierungswiederholung gesperrt werden mußten), bedeutete für den Automobilhersteller eine enorme Belastung. Hinzu kam, daß die US-EPA während der Wiederholungszertifizierung ständig kontrollierend und überwachend tätig war.

Andererseits stand die EPA vor dem Problem, entweder das Gesetz nachlässig zu handhaben und auf eine Bestrafung in obengenanntem Ausmaß zu verzichten, oder ein Exempel zu statuieren. Die erste Alternative war die naheliegendere, da die behördlichen Testanlagen in Ann Arbor zu jener Zeit durch die Zertifizierungsfahrzeuge anderer Hersteller voll belegt waren und normalerweise seitens EPA-Kapazität überhaupt nicht die Möglichkeit bestand, eine derart strenge Anwendung des Gesetzes zu erlauben.

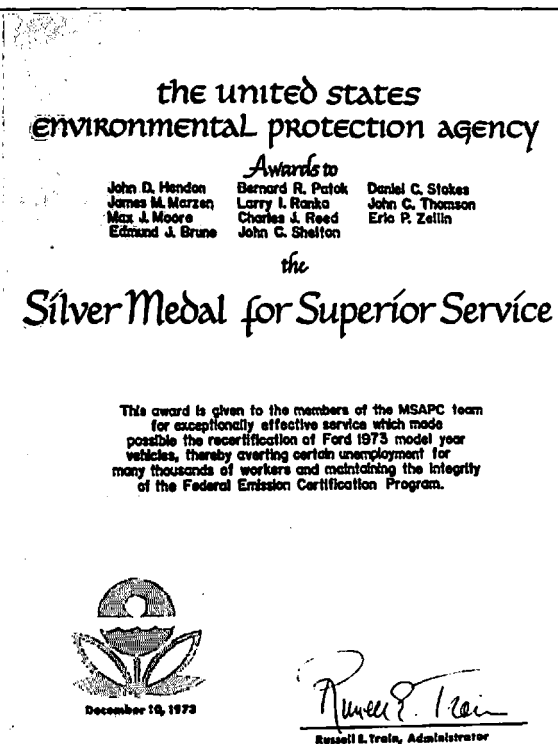


Bild III.5-37: Anerkennung der EPA-Leistungen bei der Zertifizierungswiederholung von Ford im Jahre 1973

Die EPA mußte sich trotzdem, um in ihrer Philosophie konsistent und glaubhaft zu bleiben, für die zweite Alternative entscheiden: Durch bis zu 24-stündigen Einsatz des Behördenlabors und Behördenpersonals wurde der zusätzliche organisatorische und praktische Aufwand für eine komplette Neuzertifizierung für Ford angenommen und bewältigt. Vom Mai bis Mitte September 1972 setzte die EPA etwa 47 % ihrer gesamten normalen Arbeitskapazität für die Ford-Nachzertifizierung ein, wobei etwa 6.750 Mannstunden normale, und 2.000 Stunden bezahlte Überzeit erbracht werden mußte {767}.

Die vom Administrator der EPA nach Abschluß aller Arbeiten an das behördliche Personal im Testlabor Ann Arbor verliehene Auszeichnung für besondere Verdienste dürfte unterstreichen, daß es sich bei diesem Vorgang um mehr als die Wieder-

holung einiger Zertifizierungstests gehandelt hat. Die besonderen Verdienste bestanden - wie der Text der in Bild III. 5-37 wiedergegebenen Urkunde ausweist - nicht nur darin, daß die Behörde bewiesen hatte, willens und in der Lage zu sein, gesetzlich vorgesehene Sanktionen (Zertifikatsverweigerung, Strafzahlung und Forderung einer Neuzertifizierung) auch tatsächlich zu realisieren, und damit "the integrity of the Federal Emission Certification Program" aufrecht zu erhalten. Gegenüber diesem "moralischen" Verdienst dürfte der "ökonomische" Verdienst des obengenannten behördlichen Einsatzes von weitaus größerer Bedeutung gewesen sein, indem das "unemployment of many thousands of workers" verhindert wurde, wie die im Bild gezeigte Urkunde betont.



Dieser Aspekt läßt die durch wirtschaftliche Konsequenzen gesetzten Grenzen nicht nur der US-Emissionskontrollgesetzgebung, sondern jeder Umweltschutzgesetzgebung erkennen.

### 5.3 Problembereiche im Zusammenhang mit den Zertifizierungsaktivitäten eines Automobilherstellers

Nahezu alle Schwierigkeiten von Zertifizierungsverfahren lassen sich bei näherer Betrachtung auf ein Zeitproblem zurückführen. Technische Hürden konnten bisher noch immer überwunden werden, wobei nur ein mehr oder weniger großer Zeitbedarf erforderlich war. Finanzielle Aufwendungen sind primär auch nur bei einigen (meist kleineren) Automobilherstellern ein Grund gewesen, von Zertifizierungsverfahren auf bestimmten Märkten Abstand zu nehmen. Das Zeitproblem in der Zulassungsprozedur trifft jedoch alle Hersteller und kann Zertifizierungsanstrengungen selbst beim Vorhandensein bester technischer Lösungen zur Emissionskontrolle gefährden oder gar zum Scheitern bringen.

Problem verursacht durch	Konsequenzen	Beispiel
Spätes Verabschieden von Emissionsgrenzwerten durch den Gesetzgeber und Nichtberücksichtigungen der Interrelation von Bundes- und Kalifornien-Gesetzgebung	Technische Entwicklungen ohne definiertes Ziel. Dadurch Gefahr von „under“- oder „over engineering“ mit der weiteren Konsequenz später notwendig werdender „running-changes“	Verabschiedung der Partikel-Standards für Modelljahr 1982 durch EPA erst am 5. 3. 1980. Da Kalifornien keine eigenen Partikel-Standards erlassen, von der EPA aber schärfere NO <sub>x</sub> -Grenzwerte genehmigt bekommen hat, ergibt sich für den Automobilhersteller in Modelljahr 1982 in Kalifornien, die technisch unerfüllbare und behördlicherseits gar nicht bedachte Grenzwertkombination von 0,6 g PM/m über 50 000 und 1,0 g NO <sub>x</sub> /m über 100 000 Meilen. Situation 1 Monat vor Zertifikationsbeginn noch nicht geklärt!
Spätes Festlegen von meßtechnischen Forderungen und Details durch den Gesetzgeber	Diskussionen über die Fähigkeit des Herstellers, bestimmte Grenzwerte erfüllen zu können, ohne Basis. Gefahr von Zeitverzögerungen und Doppel-zertifikationen	Partikel-Meßtechnik für Modelljahr 1982: Da zunächst für Modelljahr 1981 vorgeschlagen, hoher Aufwand bei Daimler-Benz, um Abgastests in diesem Modelljahr mit der erst sehr spät definierten Partikelmeßtechnik durchführen zu können. Dadurch Zeitverzug beim Beginn des Zertifikationsverfahrens
Unbeabsichtigter Fehler während der Zertifikation (am 50 000- oder 4 000-Meilen-Fahrzeug, in der Dokumentation etc.) oder Unfall eines Zulassungsfahrzeugs beim Hersteller	Unübersehbarer Zeitverzug. Bei Nicht-Anerkennung der durchgeführten Dauerläufe oder Tests Serienanlauf des Modells nicht möglich	Unfälle während Zertifikations-Dauerläufen bei Daimler-Benz in den Modelljahren 1975, 1976, 1977 und 1980 (1978 und 1979 wurde kein Dauerlauf durchgeführt)
Kapazitätsengpässe bei der Behörde (im Testlabor oder beim Büropersonal)	Unterbrechung/Aufschub der Zertifizierungsaktivitäten des Herstellers ohne Beeinflussungsmöglichkeit durch den Hersteller	Unterbrechung der Daimler-Benz Zertifikationstests im Behördenlabor wegen des „Shetley-Fahrzeugs“, das angeblich 110 mpg. erreichen und trotzdem die Emissionsstandards unterschreiten sollte
Korrelationsprobleme in der Meßtechnik zwischen Hersteller und Behörde	Wenn zu spät erkannt, Zertifikation gefährdet oder nicht möglich	Erforderliche Neuzertifikation bei Peugeot, da Zertifikationsfahrzeuge im Behördenlabor unerwartetes HC-Problem hatten
Unerwartete Zusatzforderungen der Behörde	Zertifikation aufgeschoben. Termin für Serienanlauf gefährdet	„Defeat Device“-Tests Modelljahr 1973; HCN-Tests Modelljahr 1975; Tests auf Eingriffssicherung Modelljahr 1981

**Bild III.5-38:** Ursachen, Konsequenzen und Beispiele von möglichen Problemen bei Zertifizierungsverfahren.

Dieser Problembereich sei nachfolgend anhand der in Bild III. 5-38 zusammengestellten markanten Beispiele näher erläutert.

#### 5.3.1 Unerwartete Zusatz-Testforderungen durch die Behörden

Als erstes Gebiet der hier angesprochenen Verzögerungen im optimalen Zeitablauf eines Zertifizierungsverfahrens sind behördliche "Sonderwünsche" anzusprechen, die entweder ohne Vorankündigung erhoben wurden (wie z. B. die "HCN-Tests" oder die "Defeat Device"-Tests) oder deren Umfang und Problematik trotz Vorankündigung (wie z. B. bei den Tests auf Eingriffssicherheit) nicht abschätzbar waren, so daß sie in den zeitlichen

Konsequenzen nicht richtig in die Planung des Zulassungsverfahrens einbezogen werden konnten.

#### 5.3.1.1 Emissionsbezogene Zusatztests: HCN-Tests

Als Beispiel unerwarteter Zusatzforderungen sei die HCN-Nachtestaktion der EPA im Modelljahr 1975 genannt. Bei Einführung der Katalysator-Technologie vermutete die Behörde bei Abweichen der Motoreinstellung vom Sollwert in das Gebiet "reicher" Gemischeinstellung die Bildung von Blausäure (HCN) im Abgas.

Von diesen Vermutungen wurde die Automobilindustrie jedoch nicht informiert, sondern erfuhr erst während der im Rahmen der Zertifizierung an 4.000 Meilen Emissionstestfahrzeugen in den USA durchgeführten behördlichen Nachprüftests, daß diese Fahrzeuge zu HCN-Nachmessungen nach North Carolina ins EPA-Forschungszentrum "Triangle Park" verschickt werden mußten. Hätte hierbei die HCN-Bildung über dem von der EPA als noch tolerierbar angesehenen Niveau gelegen, dürfte eine unbestimmte Verzögerung für den Zertifikatserhalt und damit auch für den Verkaufsbeginn die Folge gewesen sein.

#### 5.3.1.2 Funktionsbezogene Zusatztests: "Defeat Device"-Tests

Seit erstmals Emissionsgrenzwerte erlassen wurden, hatten die Automobilhersteller in ihren entsprechenden Emissionskontrollanlagen Schaltungen und Teile verwendet, die nur unter bestimmten Umgebungsbedingungen und Fahrzuständen arbeiteten. Mit strenger werdenden Emissionsstandards wurden diese Schaltungen immer komplizierter.

Mitte des Jahres 1972 erhob die "Division of Certification and Surveillance" der EPA Bedenken, daß diese nur "zeitweise" arbeitenden Emissionskontrollsysteme zwar die gültigen Vorschriften erfüllten, nicht aber dem Sinn des Gesetzes entsprechen würden. Am 05.07.1972 schickte die EPA einen Bericht über die seitens der Automobilhersteller für die Modelljahr 1973-Fahrzeuge vorgesehenen sogenannten "defeat devices" an den "Assistant Administrator for Air and Waste Programs", Robert Sansom. Am 12.07.1972 sandte der Administrator nach Prüfung und interner Diskussion des Berichtes einen Brief an alle Automobilhersteller mit dem Hinweis, daß Zertifikate für die 1973er Modelle nur unter der Bedingung ausgestellt würden, daß nach genauer Überprüfung des Emissionskontrollsystems und seiner Einzelteile durch die EPA sogar der Ausbau bestimmter Schaltungen oder Schalter an bereits zertifizierten Fahrzeugen nachgefordert werden konnte. Die Automobilhersteller wurden zur genauen Beschreibung aller Teile der 1973er Emissionskontrollsysteme aufgefordert {768}.

Hierbei ging es der Behörde nicht um eine Kritik an Schaltelementen, die die Funktion des Emissionskontrollsystems in Bereichen einschränkten, die aus motortechnischer Sicht ohne (oder nur mit begrenzter) Emissionskontrolle arbeiten mußten (z. B. Warmlaufphase, heißer Motor). Vielmehr bestand Anlaß zu der Befürchtung, daß bestimmte Schaltungen zum Einsatz gelangten, die zwar das Emissionskontrollsystem beim Zertifizierungstest auf dem Rollenprüfstand arbeiten ließen, es jedoch beim Betrieb des Fahrzeuges auf der Straße außer Betrieb setzten oder es nicht wirken ließen {769}.

Daraufhin wurden alle Schaltungen oder Teile, die das Emissionskontrollsystem auf zeitweises Arbeiten begrenzten, oder die Wirkung des Systems drehzahl-, temperatur- oder druckabhängig etc. moderierten unter dem Begriff "defeat device" (meist mit "Sabotage-Schaltung" oder "Sabotage-Element" übersetzt) zusammengefaßt. Im strengen Sinne dieses Begriffes, der alle Teile oder Systeme mit variabler oder durch Steuer- oder Regelemente variierte Arbeitsweise umfaßt, wären auch Vergaser und Zündverteiler solche "defeat devices". Aus praktischen Gründen muß dieser Begriff daher zwischen erlaubten/notwendigen sowie unzulässigen "defeat devices" unterscheiden, weshalb die EPA für erlaubte Teile/Schaltungen später den Begriff "Auxiliary Emission Control Device" (AECD) einführte.

Um die nicht durchweg negative Bedeutung von Zusatzschaltungen zu verdeutlichen, seien drei von der EPA nicht kritisierte Hauptgründe für ihren Einsatz genannt {770}:

- a) zur Vermeidung von Schäden für Motor oder Fahrzeug unter extremen Bedingungen
- b) zur Herabsetzung der Wirkung des Emissionskontrollsystems zugunsten verbesserter Motorwirtschaftlichkeit und Leistung unter Umgebungs- oder Betriebsbedingungen, die charakteristisch niedrige Emissionen verursachen
- c) zur Herabsetzung der Wirkung des Emissionskontrollsystems zugunsten verbesserter Motorwirtschaftlichkeit und Leistung unter Umgebungs- oder Betriebsbedingungen, die nicht im Zertifikationstest enthalten sind.

Obwohl die Gründe a) bis c) für AECD-Schaltungen im Emissionskontrollsystem an sich nicht dem Sinn des Gesetzes widersprachen, sah die EPA eine bedeutende Gefahr in der Auslegung vieler verwendeter Schaltelemente, die sogenannten "fail safe" konstruiert waren. "Fail safe" bedeutet in diesem Fall, daß zwar bei Teile- oder Systemausfall die normale Motorfunktion gesichert ist, daß aber die zuvor wirksame Emissionskontrollmaßnahme außer Funktion gesetzt und damit die Emissionen erhöht werden (z. B. Ausfall eines Steuerschalters zur Abgasrückführung und das dadurch bewirkte "Hängenbleiben" des EGR-Ventils in geschlossener Stellung: Gutes Fahrverhalten ist hierbei gesichert, die  $\text{NO}_x$ -Emissionen aber steigen erheblich). Außerdem waren einige Schaltelemente herstellerseits so knapp ausgelegt, daß schon geringe Abweichungen vom nominalen Schaltpunkt zum Überschreiten der Emissionsstandards führen konnten.

Die EPA befürchtete darüber hinaus, daß die normalerweise leicht zu erkennende und zugängliche Lage von AECD-Schaltern oder AECD-Systemen zu vorsätzlicher Außerbetriebsetzung verleiten könnte. Die in Teil II, Kap. 3.2.10.2 gemachten Ausführungen zeigen, daß solche Bedenken zu Recht bestanden, und der Weg zu neuen Vorschriften über Versteilsicherheit oder Unzugänglichkeit von Teilen des Emissionskontrollsystems durch die hier behandelten Erscheinungen und Probleme bereits vorgezeichnet wurden.

Bei der Beurteilung von "defeat devices" spielt also die Integrität des Automobilherstellers eine wichtige Rolle, und das entscheidende Kriterium über Zulässigkeit oder Unzulässigkeit eines "defeat device" ist die Frage: Wurde die AECD-Schaltung in

das Emissionskontrollsystem eingebaut, um den Zulassungstest zwar zu bestehen, das System aber beim reellen Fahrbetrieb auf der Straße unwirksam oder teilunwirksam zu machen, mit anderen Worten "to beat the cycle"?

In EPA-internen Diskussionen wurde als ein solches "defeat device", das dem Sinn des Gesetzes eindeutig widersprach, auch mehrfach eine EGR-Schaltung von Daimler-Benz aus dem Modelljahr 1973 erwähnt. Bei dieser Schaltung erfolgte eine De-Aktivierung der ( $\text{NO}_x$ -senkenden) Abgasrückführung und eine Aufhebung der (HC-senkenden) Spätzündung beim Einschalten der Klimaanlage. Da die Klimaanlage beim Zertifikationstest stets ausgeschaltet ist, wären die Emissionskontrollmaßnahmen bei der Zertifikation voll wirksam. Beim praktischen Fahrbetrieb auf der Straße dürfte in den USA die Klimaanlage dagegen sehr oft eingeschaltet sein, was zur häufigen Außerbetriebsetzung des Emissionskontrollsystems gerade dort geführt hätte, wo seine Funktion nach dem Sinn des Gesetzes sichergestellt sein sollte.

Es muß zwar bestätigt werden, daß eine derartige Schaltung von Daimler-Benz für Fahrzeuge des Modelljahres 1973 zur Zulassung angemeldet worden war, daß diese Schaltung jedoch nach Diskussion mit der EPA sofort zurückgezogen wurde und daher nie zum praktischen Einsatz gelangte.

Der historischen Vollständigkeit halber sei kurz auf die Entstehung dieses (aus Sicht der EPA) Prototyps einer verbotenen AECD-Schaltung eingegangen. Die Schaltung war nicht beabsichtigt "to beat the cycle". Sie entstand aus dem Bemühen, beim Einschalten der Klimaanlage trotz dieser zusätzlichen Motorbelastung noch einen "sauberen" Leerlaufbetrieb zu gewährleisten. Da im Leerlauf weder nennenswerte  $\text{NO}_x$ - noch bedeutende HC-Emissionen auftreten, sah Daimler-Benz kein Vergehen im Ausschalten der EGR und Aufheben der Spätzündung, wenn der Motor noch durch den Klimakompressor belastet wurde. Es wurden im Gegenteil bei Einschalten dieser Zusatzbelastung durch Absinken der Motordrehzahl Verbrennungsaussetzer mit hohen HC-Spitzen befürchtet, was durch Abschalten der EGR und Wiedereinstellen eines "normalen" Zündzeitpunktes vermieden werden sollte. Dies war die eigentliche Absicht der Schaltung, es wurde jedoch der Fehler begangen, das Abschalten der EGR und das Aufheben der Spätzündung nicht wieder rückgängig zu machen, sobald der Motor vom Leerlauf- in den Fahrbetrieb überging.

Von der obengenannten Steuerung eliminierte Daimler-Benz also die EGR-Abschaltung blieb jedoch bei der Aufhebung der Spätzündung beim Einschalten der Klimaanlage. Die EPA verlangte daraufhin Vergleichstests. In diesen Tests wurde bewiesen, daß die zur Leerlaufstabilisierung auf "früher" geschaltete Zündung sogar emissionsgünstiger war, als wenn in diesem Motorbetriebszustand Spätzündung beibehalten worden wäre. Damit konnte die ehemals als verboten deklarierte AECD-Schaltung doch noch - wenn auch mit erheblicher Zeitverzögerung - zertifiziert werden.

Die Diskussion um die "defeat devices" führte zu einer starken Kontroverse zwischen Behörde und Industrie: am 15.12.1972 forderte der Administrator der EPA sechs Auto-

mobilerhersteller (GM, Ford, Chrysler, AMC, Nissan, Toyota) auf, den Einbau von beanstandeten "defeat devices" zu stoppen. Die Aufforderung betraf ungefähr 2 Millionen Fahrzeuge des Modelljahres 1973, die noch gebaut werden sollten. Die EPA verzichtete auf Rückruf bereits gebauter Fahrzeuge, verlangte jedoch, daß die beanstandeten Ein-AECD-Schaltungen bis zum 15.2. oder 15.3. (je nach Komplexität der Schaltung und dem Änderungsaufwand) durch neue Systeme ersetzt würden und drohte mit Aufhebung des Zertifikates, falls die Hersteller dieser Aufforderung nicht nachkämen. Teile, die ausgebaut werden konnten, ohne daß Ersatz geleistet werden mußte (z. B. beanstandete Temperaturschalter) durften nach dem 01.02.1973 nicht mehr installiert werden. Diese EPA-Entscheidungen wurden getroffen, nachdem die Behörde zu dem Schluß gekommen war,

Automobil-Hersteller	Anzahl betroffene Fahrzeuge (x 10 <sup>3</sup> )	Zündung					Abgasrückführung				
		f (T <sub>U</sub> ) <sup>1)</sup>	f (T <sub>MR</sub> ) <sup>2)</sup>	f (T <sub>FR</sub> ) <sup>3)</sup>	f (Z <sub>ext</sub> ) <sup>4)</sup>	f (Z <sub>inter</sub> ) <sup>5)</sup>	f (T <sub>U</sub> )	f (T <sub>MR</sub> )	f (T <sub>FR</sub> )	f (Z <sub>ext</sub> )	f (Z <sub>inter</sub> )
American Motors	325	X					X	X			
Chrysler	1.564	X					X				
Ford	3.350	X									
General Motors	2.408		X		X			X		X	
Nissan	371			X							
Toyota	10						X				
Σ	8.028										
Daimler-Benz						X <sup>6)</sup>					X <sup>7)</sup>

<sup>1)</sup> Zündung oder Abgasrückführung gesteuert in Abhängigkeit von: T<sub>U</sub> = Umgebungstemperatur; T<sub>MR</sub> = Motorraumtemperatur; T<sub>FR</sub> = Fahrgastraumtemperatur; <sup>2)</sup> Zeit = Zeiträume in speziellen Fahrzeug-Betriebszuständen, die außerhalb des Zeitraumes liegen, in denen diese Betriebszustände während des Zertifikations- tests auftreten (z. B. Verzögertes Einsetzen der Spitzzündung/Abgasrückführung beim Hochschalten); <sup>3)</sup> Zubehör = in Abhängigkeit vom Zuschalten bestimmter Zusatzaggregate, die während des Zertifikations-tests nicht zugeschaltet worden; <sup>4)</sup> Schaltung war: Spitzzündung aufgehoben, wenn Klimaanlage zugeschaltet. Es konnte in einer Testreihe jedoch bewiesen werden, daß bei Klima „EIN“/Spitzzündung „AUS“ keine Emissionsverschlechterung auftritt. Schaltung wurde danach nicht mehr beanstandet; <sup>5)</sup> Schaltung war: Spitzzündung aufgehoben, wenn Klimaanlage zugeschaltet. Es konnte in einer Testreihe jedoch bewiesen werden, daß bei Klima „EIN“/Spitzzündung „AUS“ keine Emissionsverschlechterung auftritt. Schaltung wurde danach nicht mehr beanstandet; <sup>7)</sup> Schaltung von Daimler-Benz nach Beanstandung durch EPA sofort abgeändert, kam nicht zum Serieneinsatz.

**Bild III.5-39:** Von der US-EPA als „defeat devices“ (Sabotage-Schaltung) beanstandete AECD's („Auxiliary Emission Control Devices“ = Hilfsschaltungen in einem Emissionskontrollsystem), nach [772].

daß 60 % aller für das Modelljahr 1973 zur Zulassung angemeldeten AECD-Schalter unzulässig seien [771]. Die von der Behörde beanstandeten Schalter sind in Bild III. 5-39 zusammengefaßt.

Heftige Einsprüche der betroffenen Automobilhersteller veranlaßten die EPA jedoch, bis zum 22.12.1972 Kommentare

zu ihren Vorstellungen zuzulassen, und am 09.01.1973 ein öffentliches Hearing in Washington in dieser Angelegenheit abzuhalten. Danach verzichtete sie auf weitere Aktionen hinsichtlich der obengenannten "Ausbau-Forderungen" und wollte weitere Treffen mit der Automobilindustrie abwarten. Seit 1973 fanden zahlreiche solcher "workshops" statt und die Gespräche führten schließlich zu den im folgenden Kapitel behandelten Vorschriften über Eingriffs- und Versteilsicherheit von Bauteilen des Emissionskontrollsystems [773].

Obwohl in den in Bild III. 3-39 genannten Schaltungen einige als beanstandenswert bezeichnet werden können, soll an dieser Stelle festgehalten werden, daß die bisweilen in Diskussionen aufgetauchten extremen Sabotageschaltungen wie z. B. Haube oder Fenster geöffnet = Testbedingung = Emissionskontrollsystem in Funktion, Haube oder Fenster geschlossen = praktischer Fahrbetrieb = Emissionskontrollsystem ausgeschaltet, von keinem Automobilhersteller je vorgesehen wurden. Das extremste "defeat device" dürften Umgebungstemperaturschalter am Türpfosten des Fahrzeuges gewesen sein, die eindeutig nicht mit Motorbetriebsbedingungen zu tun hatten, sondern die Wirkung des Emissionskontrollsystems klar auf die Umgebungsbedingungen beim Zertifikationstest

begrenzten. Selbst hier kann noch diskutiert werden, ob tatsächlich ein Verstoß gegen den Sinn des Gesetzes vorlag, da die behördlicherseits bestimmten Testbedingungen repräsentativ für diejenigen Zustände des Fahrbetriebes und der Umwelt sein sollen, in denen Emissionen abgesenkt werden müssen. Wenn das Gesetz Emissionen auch unter anderen als den beim Zulassungstest vorgegebenen Umgebungsbedingungen absenken will, muß es dafür auch Vorschriften erlassen. Fehlen diese, dürfte auch der obengenannte Temperaturschalter im Türholm nicht beanstandet werden (in Serie bei Ford im Mj. 1970/71).

Im Zusammenhang mit dem zuvor Gesagten sei auf die im Jahre 1978 von der EPA herausgegebenen Richtlinien hingewiesen, die vom Hersteller auch das Einhalten bestimmter Emissionsniveaus außerhalb der Zulassungstestbedingungen fordern sollten (siehe dazu auch Kap. 6.2.3.4 Teil II, S. 136). Der Grundstein für diese Vorschriften wurde bereits mit der "defeat device"-Diskussion des Jahres 1972 gelegt.

#### 5.3.1.3 Konstruktionsbezogene Zusatztests: Tests auf Eingriffssicherheit

Ein weiteres Beispiel von verzögernden Zusatzforderungen ist die "Verstellsicherungs-Aktion" der EPA für Modelljahr 1981. Hier wußten die Automobilhersteller zwar seit dem 23.5.1977 {774} von der behördlichen Absicht, Eingriffssicherungen für das Leerlauf-einstellsystem auf Unzugänglichkeit und Verstellbarkeit untersuchen zu wollen, niemand hatte jedoch die unverstehlich ablehnende Haltung der EPA bei der Anerkennung der von den Automobilherstellern anlässlich der Zertifizierung bei der Behörde in Ann Arbor vorgestellten Sicherungen erwartet. Die Behörde "knackte" im wahrsten Sinne des Wortes Verstellungen mit Bohrmaschine, Hammer, Meißel und Eisensäge und lehnte Systeme ab, die nach derartiger Bearbeitung wieder verstellbar waren.

Diese Aktionen müssen eindeutig als sinnlos und übertrieben angesehen werden, da die Behörde in diesem Fall der weiterentwickelten Technik gedanklich nicht gefolgt war. Hatten z. B. besonders in den Modelljahren bis 1973 Kunden und Werkstätten tatsächlich noch ein Motiv, am Leerlaufgemisch Verstellungen vorzunehmen (Verbesserung des Fahrverhaltens und des Kraftstoffverbrauches, so entfiel jeglicher Verstellgrund ab Einführung der O<sub>2</sub>-Sonden-gesteuerten Katalysatorsysteme, da diese in einem verbrauchsgünstigen und vor allem fahrverhaltensmäßig einwandfreien Bereich arbeiteten. Verstellungen hätten also nur diesen günstigen Zustand verändert.

Erst nachdem z. B. GM wegen der durch diese Aktionen für den Gesamtzertifizierungsablauf inzwischen gefährlich gewordenen Zeitverzögerung gerichtliche Schritte gegen die EPA eingeleitet hatte, ließen die extremen Teileprüfungen der Behörde nach, und das Argument fehlender Motivation zu Verstellaktionen durch den Kunden aufgrund fortgeschrittener Technik fand Eingang auch in die EPA-Denkungsweise. Obwohl damit schließlich die herstellerseits vorgestellten Sicherungssysteme zugelassen wurden, ist das Problem nach wie vor latent: Nach Abschluß der Modelljahr 1981-Zertifizierung will die EPA das Thema erneut aufgreifen.

Die verstärkten Aktivitäten der US-Behörde auf obengenanntem Gebiet können als Indiz

dafür angesehen werden, daß die Pläne zur Feldüberwachung wegen der damit verbundenen technischen und rechtlichen Probleme wohl auch seitens des Gesetzgebers als schwer realisierbar angesehen wurden. Als Alternative zur Überwachung der sich während der Lebenszeit des Fahrzeuges verstellenden oder bewußt verstellten Emissionskontrollsysteme wurde also die Forderung nach Unverstellbarkeit und Wartungsfreiheit verstärkt verfolgt.

Diese Tendenz sollte von der Automobilindustrie klar erkannt und ernst genommen werden, da andere Länder - wenn auch mit dem üblichen Zeitversatz - diesem Trend folgen werden. Entsprechende Entwicklungsschritte sind rechtzeitig und mit Nachdruck schon bei der Projektierung neuer Fahrzeugmodelle und Motoren einzuplanen, die Auswirkungen auf Serienproduktion, Gütesicherung und Kundendienst sind zu bedenken.

### 5.3.2 Erweiterung der Zertifikationstest-Bedingungen: Zertifikationen unter "Non-FTP"-Bedingungen

Am 19.09.1978 schlug die EPA vor, beginnend mit Modelljahr 1980 auch für Temperaturbereiche außerhalb der bisher festgelegten FTP-Bedingungen Grenzwerte festzulegen, und bei der Zertifikation nach einem zusätzlichen Fahrzyklus ("New York City Cycle", NYCC, siehe Teil II, Kap. 8.1.7) zu testen. Außerdem sollten auch Grenzwerte für

Test-Art	Schadstoff [g/m]	Modelljahr 1980				Modelljahr 1981 und folgende			
		Temperaturen <sup>1)</sup> der Testpunkte [°C]				Temperaturen <sup>1)</sup> der Testpunkte [°C]			
		- 6,7	10	23,9	43,3	- 6,7	10	23,9	43,3
FTP <sup>3)</sup>	HC	-	0,48	0,41 (0,38) <sup>2)</sup>	0,40 (0,47) <sup>2)</sup>	-	0,48	0,41 (0,38) <sup>2)</sup>	0,40 (0,47) <sup>2)</sup>
	CO	12,3	9,7	7,0 (7,4) <sup>2)</sup>	-	6,0	4,7	3,4 (3,6) <sup>2)</sup>	-
	NO <sub>x</sub>	-	2,4	2,0 (2,04) <sup>2)</sup>	-	-	1,2	1,0 (1,02) <sup>2)</sup>	-
HFET <sup>4)</sup>	HC	-	-	0,2	-	-	-	0,2	-
	CO	-	-	2,9	-	-	-	1,4	-
	NO <sub>x</sub>	-	-	2,2	-	-	-	1,1	-
NYCC <sup>5)</sup>	HC	-	-	0,86	-	-	-	0,86	-
	CO	-	-	16,1	-	-	-	7,8	-
	NO <sub>x</sub>	-	-	2,1	-	-	-	1,0	-

1) zulässige Temperaturtoleranz:  $\pm 2,8$  °C; 2) die Klammerwerte gelten für Abgastests mit Klimaanlage und werden bei allen Motorfamilien angewendet, bei denen ein Klimaanlage-Anteil von mehr als 33% bei den zu verkaufenden Fahrzeugen erwartet wird. Der Test soll wie folgt durchgeführt werden: Klimaanlage in der „kältesten“ Stellung, nur Innenluftumwälzung, Lüfter in höchster Stufe, Klimaanlage nach Herstellervorschrift gefüllt; 3) FTP = Federal Test Procedure; 4) HFET = Highway Fuel Economy Test; 5) NYCC = New York City Cycle (der mit betriebswarmem Motor begonnen wird).

den "Highway Fuel Economy Test" (HFET) festgelegt werden [775]. Eine Zusammenfassung der vorgeschlagenen Bedingungen ist in Bild III. 5-40 gegeben.

Auslöser für diese Vorschläge waren einerseits die in Kap. 5.3.1.2 diskutierten "defeat device"-Erfahrungen der Behörde andererseits spielten

**Bild III.5-40:** Grenzwerte für Abgastests unter Nicht-FTP-Bedingungen, wie von der EPA zunächst ab Modelljahr 1980 vorgeschlagen, im November 1978 jedoch für unbestimmte Zeit zurückgezogen, nach [776].

aber auch die behördeneigenen Untersuchungen über

das Fahrverhalten, die Startbedingungen und Emissionen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen sowie die Starthäufigkeit im inner- und außerstädtischen Bereich eine Rolle [777].

Obwohl die Automobilhersteller versuchten, sich schnellstens die Voraussetzungen zur Erfüllung dieser angekündigten Vorschriften zu schaffen (Höhen- und Klimakammern, Ergänzung der Testanlagen durch Einarbeitung des neuen Fahrzyklus in Steuerungs- und Auswerteprogramme), legten sie gegen die juristisch anfechtbare Vorgehensweise der Be-

hörde, per "Advisory Circular" neue Grenzwerte zu erlassen, Protest ein. Daraufhin wurden die obengenannten Vorschläge im November 1978 auf unbestimmte Zeit zurückgezogen. Es blieb jedoch eine abgewandelte "Highway Fuel Economy Test (HFET)-NO<sub>x</sub>-Guideline" mit einem 1,22fachen FTP-NO<sub>x</sub>-Standard für Pkw (und einem 1,28fachen FTP-NO<sub>x</sub>-Standard für leichte Nutzfahrzeuge), die am 06.12.1978 veröffentlicht wurde {778}. Wurde dieses Limit eingehalten, nahm die EPA automatisch an, daß im Emissionskontrollsystem des Fahrzeugs kein unerlaubtes AECD eingebaut war. Einem erneuten Vorwurf seitens der Automobilhersteller bezüglich Grenzwertfestlegung per "Advisory Circular" (A/C) ging die EPA dieses Mal aus dem Weg, indem sie die in Bild III.5-40 genannten Grenzwerte als "guideline" (Richtlinie) bezeichnete, und die Anwendung des A/C der Entscheidung des einzelnen Herstellers überließ.

### 5.3.3 Erweiterung der Zertifikations-Gültigkeit: Zertifikationen unter "Höhenbedingungen"

Auslöser für diese erneute Gesetzeserweiterung waren Beschwerden von offiziellen Stellen aus der Denver-Region, die sich über hohe Emissionen neuer Fahrzeuge beklagten. Testunterlagen von "Surveillance"-Tests (siehe dazu Teil II, Kap. 8.2.1.1) aus den Modelljahren 1957 bis 1977 hatten gezeigt, daß CO-Emissionen in Denver 166 % und HC-Emissionen 155 % des bundesweiten mittleren Emissionsniveaus betrugen {779}.

Da diese Emissionen nur in Höhenlagen wie Denver (5280 ft  $\approx$  1620 m) so gravierend waren, wollte die EPA nur alle Gebiete in Lagen > 4000 ft ( $\approx$  1220 m) mit dem neuen Gesetz abdecken, wodurch nur die 2,5 % aller US-Fahrzeuge, die in solchen Höhen betrieben wurden, betroffen waren {779}.

#### 5.3.3.1 Die "Höhen-Gesetzgebung" der 49-Staaten

Unter Bezugnahme auf Sec. 202 des "Clean Air Act", die in (a) (1) sagt, daß der Administrator der EPA Grenzwerte für alle neuen Fahrzeuge vorschreiben soll, von denen er glaubt, daß sie zur Luftverunreinigung beitragen, veröffentlichte die EPA erstmals am 12.10.1973 eine "Notice of Proposed Rulemaking" (NPRM) über Zertifikationen unter Höhenbedingungen im "Federal Register" {779}.

Dieser Gesetzesvorschlag sah zunächst nur vor, daß die 4000 Meilen Emissionstestfahrzeuge ihren 4000 Meilen-Lauf unter Höhenbedingungen absolvieren und die Vorschriften erstmals auf Fahrzeuge des Modelljahres 1976 angewendet werden sollten {780}. Beide Bedingungen wurden jedoch mit "Federal Register" vom 18.10.1974 {781} zurückgezogen, da erstens die Teststrecken oder automatischen Röllenprüfstände zur Meilenakkumulation von allen Automobilherstellern etwa in Meereshöhe lagen, und da zweitens kein Hersteller im Besitz von Höhenkammern oder Höhentest-Labors war und diese auch nicht mehr rechtzeitig für das Modelljahr 1976 einrichten konnte.

Die EPA rechnete damit, daß die Automobilhersteller folgende zwei "Höhenkorrekturen" zur Emissionskontrolle einführen würden:



- a) eine feste Einstellung, die auf die jeweilige Höhenlage, in der das Fahrzeug verkauft wird, eingestellt wird, oder
- b) eine automatische Höhenkorrektur, durch die das Fahrzeug die Emissionsgrenzwerte in allen Höhenlagen einhält.

Als Höhenbedingungen waren festgelegt:

- a) Höhenlabor in  $5200 \pm 900$  ft ( $\approx 1586 \pm 274$  m), oder
- b) Höhenkammer mit erreichbarem barometrischen Luftdruck von  $83,48 \pm 2,77$  kPa ( $0.835 \pm 0.088$  bar)

Die Vorschriften forderten, daß der Hersteller als Teil der Wartungsunterlagen für den Kunden die Modifikationen bekannt geben sollte, die bei "Höhenfahrzeugen" nötig sind, wenn sie in "Normalhöhe" betrieben werden. Falls Fahrzeuge nicht derart entwickelt wurden, daß sie für guten "Normalhöhenbetrieb" modifiziert werden konnten, so forderten die Vorschriften einen entsprechenden Hinweis in den Wartungsunterlagen.

Da von den Testfahrzeugen nach 4000 Meilen Fahrstrecke Belegtests in der Höhe gefordert wurden, baute Daimler-Benz mit einem Kostenaufwand von  $\approx 350.000$  US-\$ innerhalb von 10 Monaten ein komplettes Höhenlabor in Denver (Colorado) auf, das Tests für Abgas- und Verdunstungsemissionen durchführen konnte. In diesem Labor wurde die 1977er Höhen-Zertifizierung erfolgreich abgewickelt. Gleichzeitig wurde der Aufbau einer "Höhenkammer" im Stuttgarter Werk begonnen, deren Inbetriebnahme im Jahre 1981 erfolgen konnte. Diese - allerdings noch mit weiteren Testmöglichkeiten (Temperaturen, Fahrgeschwindigkeiten) ausgestattete Testzelle wird voll ausgerüstet  $\approx 12$  Millionen DM gekostet haben.

Trotz des Aufschubes der obengenannten Vorschriften von Modelljahr 1976 auf 1977 war der Gesamtkomplex "Höhengesetzgebung" übereilt verabschiedet und hat Nachteile sowohl für den Gesetzgeber, die Industrie als auch den Verbraucher gebracht. Die Industrie hatte hohen zusätzlichen finanziellen und organisatorischen Aufwand für Höhentests, technische Lösungen zur Emissionskontrolle, Fahrzeug-Verteilung und Verkaufssteuerung, und nicht alle in Meereshöhe angebotenen Fahrzeuge konnten für Höhenggebiete zertifiziert werden. Dadurch lag weder für die Fahrzeughändler noch für die Kunden in den 167 betroffenen Höhenggebieten der USA die gleiche Fahrzeugvielfalt wie in anderen Gebieten vor. Beide Parteien waren mit dieser ungleichen Behandlung unzufrieden. Da Kunden auch Fahrzeuge in Meereshöhe kauften und in Höhenggebieten betrieben, hatte nicht nur der Händler in dem entsprechenden Höhenggebiet einen Verlust, sondern es wurde auch die Emissionskontroll-Gesetzgebung für Höhenlagen umgangen [782].

Das Fazit des gesetzgeberischen Fehlschlages von Modelljahr 1977 spiegelt sich in den 1977er Ergänzungen zum "Clean Air Act" wider:

"Die Höhen-Gesetzgebung, wie sie für Fahrzeuge des Modelljahres 1977 in Kraft war, ist nicht anwendbar auf die Herstellung, Verteilung und den Verkauf von Fahrzeugen der Modelljahre 1978 und später. Irgendwelche zukünftigen Vorschriften, die den Verkauf

oder die Verteilung von Fahrzeugen oder Motoren in Höhengebieten betreffen, die vor dem Modelljahr 1984 hergestellt wurden, dürfen nicht vor dem Modelljahr 1981 einsetzen" {783}.

Es heißt weiter, daß der "Administrator" der EPA, bevor er derartige Vorschriften erläßt, erwägen soll,

"welche ökonomische Belastung dieses Gesetz für den Verbraucher, den individuellen Verkäufer in der Höhe und für die Automobilindustrie bedeutet, einschließlich der ökonomischen Belastung, wie sie erfahren wurde als Ergebnis der Modelljahr 1977-Vorschriften bezüglich Höhenzulassungsforderungen" {784}.

Am 25.09.1978 wurde der Gesetzesaufhebung entsprechend dem ergänzten "Clean Air Act" Rechnung getragen, indem die entsprechenden Paragraphen ab Modelljahr 1978 geändert wurden {785}. Die Hersteller konnten freiwillig weiter in der Höhe zertifizieren. Entsprechende neue gesetzliche Grundlagen für eine freiwillige Höhenzertifizierung im Modelljahr 1981 wurden am 27.03.1980 veröffentlicht {786}. Die EPA erwartete die Teilnahme aller Automobilhersteller am freiwilligen 81er Programm, weil nach {786}:

- a) reine "Meereshöhenfahrzeuge" in Höhengebieten nicht nur schlechtere Emissionen aufweisen, sondern auch der Verbrauch und die Fahrbarkeit schlechter als in Meereshöhe sind. Nach dem neuen freiwilligen Programm sind hier durch entsprechende Maßnahmen Verbesserungen zu erreichen bei weniger scharfen Grenzwerten als in Meereshöhe. Bei dem bisherigen freiwilligen Programm (nach 1977!) mußten in der Höhe gleiche Grenzwerte wie in Meereshöhe erfüllt werden.
- b) im Modelljahr 1981 die Einstellbarkeit von Luft-Kraftstoffgemisch und Choke durch die sogenannten "Parameter Adjustment Regulations" (Einstellsicherungs-Vorschriften) berührt werden. Es ist einleuchtend, daß unter bestimmten Umständen dieses Gesetz den Hersteller hindern kann, die beste Höheneinstellung anzubieten. Gemäß Sec. 215 des "Clean Air Act" entwickelt die EPA Vorschriften für die Verfügbarkeit von Höheneinstellinstruktionen.
- c) Fahrzeuge, die bisher in Höhengebieten "unsafe" waren oder die unter Höhenbedingungen extrem schlechte Fahrbarkeit aufweisen und deshalb nicht angeboten werden konnten, durch dieses freiwillige Programm mit Höhenkomponenten ausgerüstet werden können.
- d) die für Modelljahr 1981 freiwillig in der Höhe zertifizierten Fahrzeuge dann mittels "carry-over" für die 1982er und 1983er Standards zertifiziert werden können.

Als "High-Altitude Reference Point" (= Denver-Höhe, die auch in anderen Labors für "Höhentests" zu realisieren ist) wird angegeben:

- a) Test in  $1620 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$  Höhe ( $5400 \pm 330 \text{ ft}$ ), oder
- b) Höhenkammer:  $82 \text{ kPa} \pm 1 \text{ kPa}$  ( $0.82 \pm 0.01 \text{ bar}$ )

Entschließt sich ein Hersteller zur Teilnahme am freiwilligen Höhenprogramm, so ist er verantwortlich für die Erfüllung aller anderen zutreffenden Forderungen des "Clean Air Act". Die Behörde kann Recall- und SEA-Tests dieser Fahrzeuge unter Höhenbedingungen durchführen und sie kann "Enforcement"-Maßnahmen ergreifen, wenn die Fahrzeuge die Höhenstandards nicht erfüllen. Ähnliches gilt, wenn Höhenfahrzeuge in Meereshöhe

verkauft werden. Die Gesetzgebung für eine erzwungene Zertifizierung für Höhengebiete war jedoch nicht ad acta gelegt. Am 11.05.1979 wurde die Absicht der EPA bekanntgegeben, "High-Altitude Standards" und Testverfahren für die Modelljahre 1981 bis 1983 einzuführen {787}. Weitere Details wurden für Juni 1979 angekündigt, jedoch erst am 24.01.1980 im "Federal Register" als Vorschlag für die Modelljahre 1982 und 1983 veröffentlicht {788}. Das endgültige Gesetz über die wieder geforderte Höhenzertifizierung in den Modelljahren 1982/83 wurde am 08.10.1980 bekannt gemacht {789}. Die Grenzwerte für diese freiwillige Höhenzertifizierung von Modelljahr 1981 sind mit denen der gesetzlich geforderten Höhenzulassung in den Modelljahren 1982 und 1983 identisch [0,57 gHC/m; 7.8 gCO/m (bei Fahrzeugen, die ein 7.0 g/m Waiver haben: 11.0 gCO/m); 1.0 gNO<sub>x</sub>/m (bei Fahrzeugen, die ein NO<sub>x</sub>-Waiver haben, gilt der Waiver Standard); 2.6 gEvap/m]. Die Auftrennung in die Modelljahre 1981 (freiwillig) und 1982/83 (gesetzlich gefordert) erfolgte unter Berücksichtigung der sogenannten "lead time", d. h. der von der Automobilindustrie benötigten Vorbereitungszeit. Ab Modelljahr 1984 sind in allen Höhenlagen Meereshöhen-Standards einzuhalten.

Durch die "Höhengesetzgebung" und die daraus in bestimmten Fällen (z. B. wenn "Meereshöhen-Fahrzeuge" in Höhengebiete zum Verkauf oder Stationierung gebracht werden, nicht aber im Falle von Fahrzeugen, die von Anfang an auf Höhenbedingungen kalibriert waren) resultierende (gesetzlich geforderte) Notwendigkeit, Verstellungen an den Fahrzeugen bei Anpassung auf Höheneinsatz durchführen zu müssen {790}, ergab sich in diesen Fällen eine Konfliktsituation zu den in den ab Modelljahr 1981 gültigen "Parameter Adjustment"-Vorschriften {791} gesetzlich verbotenen Eingriffen und Eingriffsmöglichkeiten am Emissionskontrollsystem. Die EPA mußte zugeben, daß trotz der angeblichen Kompatibilität beider Gesetzeswerke ("High Altitude Regulations" und "Parameter Adjustment Regulations")

"... the existence of parameter adjustment regulations may increase the cost of the high-altitude regulations in some instances" {792}.

In diesem Zusammenhang erwartete die EPA, daß der Automobilhersteller "Höhen" und "Normalhöhen"-Fahrzeuge produzieren würde, die nach einem der drei folgenden Wege beide Gesetzesvorschriften einhalten würden {792}:

1. Anwendung automatischer Höhenkompensation (Barometerdosens) und 3-Weg-Katalysatoren, die Emissionen ohne einzustellende Parameter reduzieren.
2. In Fällen, da der Administrator einen Parameter als "adjustable parameter" bezeichnet hat, werden beide Grenzwerts innerhalb des Einstellbereiches erfüllt.
3. In Fällen, da die Standards nicht innerhalb des Verstellbereiches der Gemischaufbereitungsanlage des Fahrzeuges erfüllt werden können, werden separate Höhentteile erlaubt sein, vorausgesetzt, der Service kann beim Händler oder in einer unabhängigen Werkstatt für weniger als 40 US-\$ (1978) durchgeführt werden (die Begrenzung der Kosten für den Umbau auf 40 \$ wurde am 24.7.1980 wieder aufgehoben {794}).

Am 24.01.1980 wurden außerdem noch Vorschläge zur nachträglichen Höhenanpassung von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen ab Modelljahr 1968 veröffentlicht ("Proposed Regulations for the Submission of Altitude Performance Adjustments for Motor Vehicles" {795}). Diese Vorschläge wurden am 8.10.1980 als Gesetz mit Gültigkeit ab 7.11.1980 veröffentlicht. Ziel dieser Vorschriften war, das Emissionsverhalten von Fahrzeugen zu verbessern, die in einer anderen Höhenlage betrieben wurden als für die sie zertifiziert worden waren. Dieses Ziel sollte dadurch erreicht werden, daß der Automobilhersteller schriftliche Einstellanweisungen über die im Feld betroffenen Fahrzeuge der verschiedenen Modelljahre festlegen mußte. Als akzeptable Kosten sah die EPA Beträge von höchstens 40 US-\$ an, da diese Einstellarbeiten außer den Emissionen auch den Kraftstoffverbrauch und die Fahrbarkeit verbessern würden {796}. Ausgenommen von diesen Forderungen waren Hersteller, deren Fahrzeuge Systeme besaßen, die den Einfluß verschiedener Luftdichte ganz oder teilweise kompensieren. Die hier diskutierten Verstellungen an den Emissionskontrollsystemen von Fahrzeugen der verschiedensten Modelljahre (1968 bis nach 1982) fallen nicht unter die Anti-Tampering-Vorschriften des "Clean Air Act", es sei denn, die Verstellung führt dazu, daß {797}:

- bei Fahrzeugen, die schon vor der Verstellung einen gesetzlichen Grenzwert überschritten, irgendeiner der limitierten Schadstoffe ansteigt,
- bei Fahrzeugen, die vor der Verstellung die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten haben, irgendein limitierter Schadstoff die Standards überschreitet,
- irgendeine Fahrverhaltensverschlechterung eintritt, die der Fahrzeugbesitzer wahrscheinlich beanstanden wird,
- ein Mechaniker durchschnittlicher Fähigkeiten durch die Komplexität der Verstellmaßnahmen überfordert ist,
- spezielle Teile des Automobilherstellers verwendet werden müssen, es sei denn diese Teile sind zur Sicherstellung der Wirkung des Emissionskontrollsystems erforderlich, und falls
- die vorgeschriebenen Eingriffs- und Verstellicherungen außer Funktion gesetzt werden

#### 5.3.3.2 Die "Höhen-Gesetzgebung" Kaliforniens

Am 08.03.1976 hatte die EPA entschieden, daß ihre Vorschriften über Höhenzertifizierung nicht auf Fahrzeuge anwendbar seien, die in Kalifornien zum Verkauf gelangten, und daß sie auch keine zusätzlichen Tests mit Kalifornienfahrzeugen in Höhenlabors fordern wolle {798}. Am 30.09.1977 machte dann Kalifornien selbst ab Modelljahr 1980 die Erfüllung bestimmter Forderungen an das Kraftstoffaufbereitungssystem von Fahrzeugen mit Otto-Motoren für den Betrieb in Höhenlagen zur Voraussetzung für eine Verkaufszulassung {799}:

"Für Fahrzeuge mit Otto-Motoren muß nachgewiesen werden, daß das Gemischaufbereitungssystem oder die Sekundärlufteinblasung

in der Lage sind, dem Motor genügend Sauerstoff zuzuführen, um theoretisch eine CO-Oxidation zu ermöglichen, die es gestattet, den CO-Grenzwert bei Luftdrücken von Meereshöhe bis 6000 ft. (≈ 1830 m) einzuhalten".

Die detaillierten Vorschriften, wie dieser Nachweis zu erbringen ist, finden sich in {800} und sind als Übersicht in Bild III. 5-41 zusammengefaßt. Zu betonen ist in diesem Zusammenhang noch, daß Einspritzmotoren am 27.04.1978 von diesen kalifornischen Höhenregelungen ausgenommen wurden {801}.

Fahrzeug wird akzeptiert, wenn $TAFR_{eff}^{1)} \leq TAFR_{stoch}$ für alle Höhenlagen von Meereshöhe bis 6000 ft (≈ 1829 m) im Leerlauf und bei 50 mph (≈ 80 km/h) = const.		
TAFR-Bestimmung kann nach 3 Methoden erfolgen:		
I: Prüfstands-Test mit Messung von Luft- und Kraftstoffmassenstrom	II: Analytisch durch theoretische Berechnungsmethode	III: Rollenprüfstandstest mit Fahrzeug und Abgasanalyse
a) Messung von Luft- und Kraftstoffmassenstrom einschließlich Sekundärlufteinblasung im Leerlauf und bei 50 km/h = const. in Meereshöhen-Niveau  b) wie a) aber bei einer simulierten Höhe von 6000 ft (≈ 1829 m)  c) Berechnung von: $TAFR_{Meer} = \frac{\dot{m}_{l0} + \dot{m}_{s0}}{\dot{m}_{l0}}$ $TAFR_{Höhe} = \frac{\dot{m}_l + \dot{m}_s}{\dot{m}_l}$ d) Vergleich mit $TAFR_{eff}$	a) Messung wie I a)  b) Mit $\frac{\rho}{\rho_0} = 0.84$ und $\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} = 1.09$  Berechnung von: $TAFR = \frac{\dot{m}_l + \dot{m}_s}{\dot{m}_l}$ $= \frac{\dot{m}_{l0} + 0.84 \dot{m}_{s0}}{1.09 \dot{m}_{l0}}$ für Leerlauf und 50 mph = const.  c) Vergleich mit $TAFR_{eff}$	a) Messung der O <sub>2</sub> - und CO-Konzentrationen am Auspuff im Leerlauf und bei 50 mph = const.  b) wie III a) aber unter 6000-ft-Höhenbedingungen  c) Wenn bei Leerlauf oder 50 mph die Konzentration von O <sub>2</sub> ≥ 0.5 Konz. von CO, dann Annahme: $TAFR_{eff} < TAFR_{stoch}$  1) TAFR = Tailpipe Air Fuel Ratio (λ am Auspuffende) eff = effektiv (bei Leerlauf oder 50 km/h) stoch = stöchiometrisch Meer = Meereshöhe Höhe = Höhenlage $\dot{m}_l, s, f$ = Massenstrom für Ansaugluft (l), Sekundärluft (s) und Kraftstoff (f)

**Bild III.5-41:** Forderungen, Messungen und Berechnungen zum Nachweis der Erfüllung der Kalifornischen Emissionskontrollvorschriften für Fahrzeuge mit Vergasermotoren in Höhengebieten ab Modelljahr 1980, nach [800].

5.3.4 Erweiterung der Zertifikations-Grundlagen: Einbeziehung des Problemkreises "Automobilabgas, Luftqualität und Gesundheit"

Die Automobilindustrie hat in den vergangenen 20 Jahren versucht, das Emissionsverhalten ihrer Produkte, und damit deren Anteil an der allgemeinen Umweltbelastung mit ihrer negativen Auswirkung auf die menschliche Gesundheit ständig zu verbessern. Leit-schnur waren hierbei jeweils die behördlicherseits festgesetzten Emissionsgrenzwerte (Kurbelgehäuse-Entlüftung, Verdunstung, Abgas), und es mußte angenommen werden, daß durch die Erfüllung dieser Standards die Gefährdungsschwelle für die Bevölkerung un-terschritten blieb. Spezielle Forderungen an die Automobilindustrie zum Nachweis die-ser Annahme gab es nicht.

Diese Situation ist seit kurzem grundlegend verändert. Die Forschungs-, Entwicklungs- und Zertifizierungsbemühungen eines Automobilherstellers müssen sich an einem wei-teren Kriterium, dem Nachweis der Ungefährlichkeit der Emissionen aus dem Kraftfahr-zeug d. h. des durch diese Emissionen verursachten Risikos, orientieren. Derartige Forderungen waren bisher zwar schon in der Nahrungsmittelindustrie ("De Laney Clause"

von 1958, Kernsatz: "Jeder Nahrungsmittelzusatz, der im Tierversuch einen Tumor hervorruft, ist verboten) {802}, der chemischen Industrie (Kosmetik, Medikamente) {803} und der Mineralölindustrie ("Clean Air Act"-Vorschriften über Kraftstoff-Additive {804} üblich, für den Kraftfahrzeugehersteller begann jedoch Neuland.

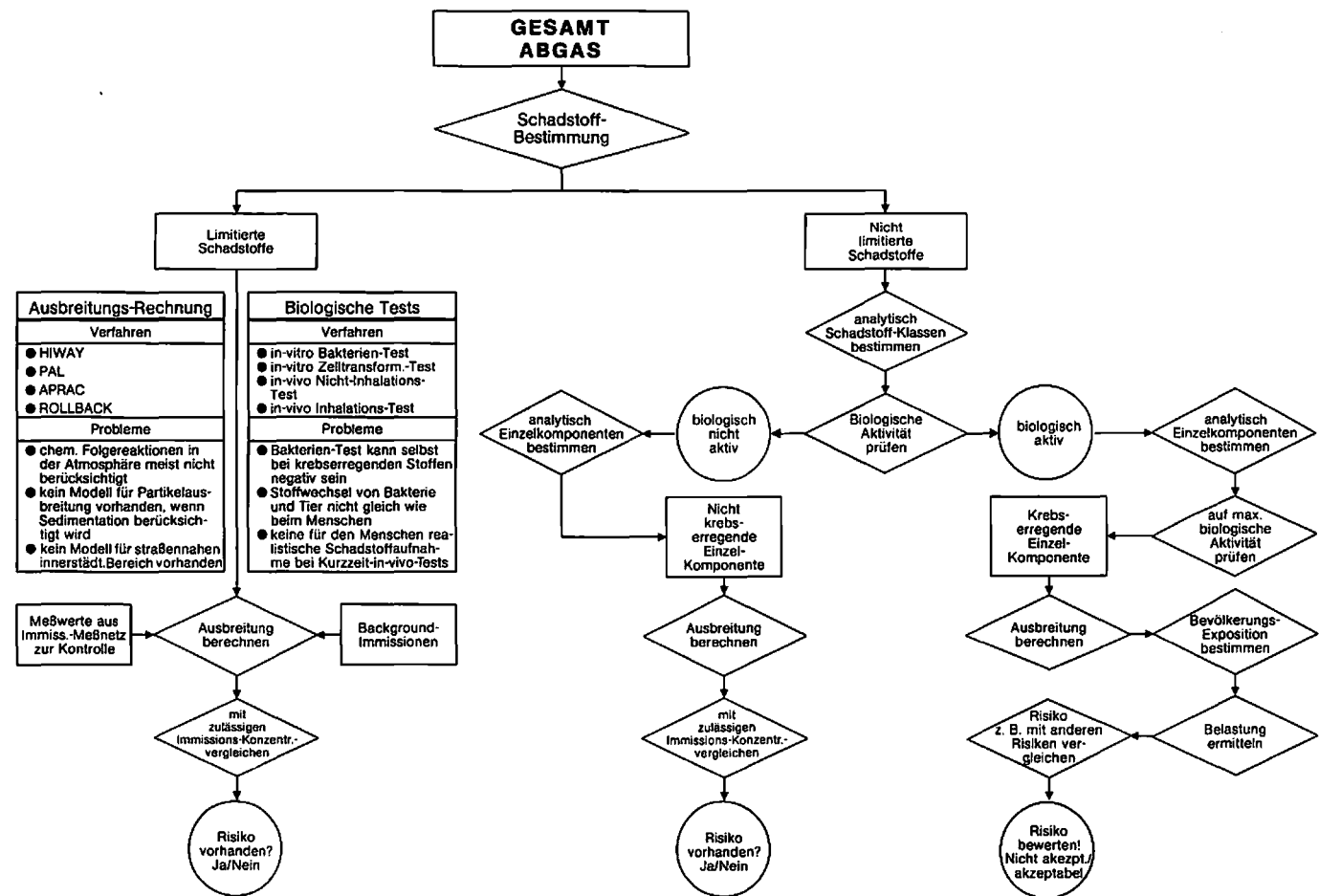


Bild III.5-42: Mögliches Vorgehen bei der Untersuchung von Schadstoffen im Automobil-Abgas auf eventuelle Gesundheits-Gefahren.

Der Umfang der zur Lösung dieser Aufgabe notwendigen Anstrengungen ist enorm und überfordert die Kapazitäten des einzelnen Automobilherstellers bei weitem. Bevor dies anhand der einzelnen Problemkreise näher betrachtet wird, sei in Bild III. 5-42 versucht, den komplizierten Weg von der Abgasmessung bis zur Abschätzung des durch diese Emissionen verursachten Risikos für die Umwelt und den Menschen in vereinfachter Darstellung zu veranschaulichen.

5.3.4.1 Gesetzlicher Hintergrund

Die Verbindung von Emissionskontrollsystem am Automobil, dessen Zertifizierung und Forderungen nach Beurteilung der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit taucht - nach den bereits erwähnten Ansätzen Kaliforniens aus dem Jahre 1961 - erneut in {805} auf, wo gefordert wird, daß ab Modelljahr 1979:

"... kein Emissionskontrollsystem mehr eingebaut werden darf, das ein unannehmbares Risiko für die öffentliche Gesundheit verursacht oder zu einem solchen Risiko beiträgt".

Darüber hinaus wird der EPA-Administrator autorisiert, daß er:

"... vom Automobilhersteller entsprechende Tests fordern kann, die ihm eine Entscheidung in dieser Angelegenheit ermöglichen" {806}.

Die Tatsache, daß die US-EPA in den ersten beiden Modelljahren der Gültigkeit dieser "Clean Air Act"-Ergänzungen von der letztgenannten Möglichkeit, Tests und Untersuchungen im Rahmen von Zertifizierungsverfahren anzufordern, noch keinen Gebrauch gemacht hat, ist nur der Komplexität des Themas und der zunächst einmal für die Automobilindustrie notwendigen Orientierungsphase zuzuschreiben.

Die Berichtspflicht über Anstrengungen in der obengenannten Richtung seitens des Fahrzeugherstellers hat jedoch auf dem Gebiet der Partikel- und  $\text{NO}_x$ -Grenzwertfestlegung für Pkw mit Diesel-Motoren ab Modelljahr 1981 bereits voll eingesetzt. Die bisher erreichten "short term/in-vitro" Testergebnisse an Fahrzeug- und Emissionskontrollkonzepten für Modelljahr 1981 und später sowie die Ergebnisse von Hochrechnungen der Luftqualität anhand erster Messungen der sogenannten "unregulated pollutants" (noch nicht limitierter Schadstoffe) bei bestimmter geschätzter Verdieselung des US-Marktes bis Modelljahr 1985 waren wesentlicher Bestandteil der Präsentationen der Automobilindustrie anlässlich der März- und Juni-Hearings 1979 in Washington D.C. Beim März-Hearing ging es um die erstmalige Festlegung eines Partikel-Standards für die Modelljahre 1981 bis 1985 und bei dem Juni-Hearing um die Verschärfung des existierenden  $\text{NO}_x$ -Grenzwertes für die Modelljahre 1981 bis 1984 für Pkw mit Diesel-Motoren.

Die wesentlichsten Themen dieser Ausarbeitungen seien nachfolgend näher betrachtet, da sie schon in der Modelljahr 1983-Zertifizierung wieder relevant werden können, wenn die  $\text{NO}_x$ - "Waiver" Grenzwerte für Mercedes-Benz-Pkw mit Diesel-Motoren auslaufen. Sollte die EPA einer weiteren "waiver"-Erteilung auch für die Modelljahre 1983 und 1984 zustimmen (gemäß "Clean Air Act" möglich), ist erst ab Modelljahr 1985 wieder mit einer Diskussion dieser Themen zu rechnen.

#### 5.3.4.2 Limitierte Schadstoffe ("regulated pollutants")

Limitierte Schadstoffe sind solche, für die numerische Umgebungsluft-Standards ("ambient air quality standards") festgelegt worden sind. Dieser numerische Standard ist ein Indikator des relativen Gefährdungsgrades durch den entsprechenden Schadstoff. Jeder von der EPA festgelegte Standard hat einen "eingebauten" Sicherheitsabstand, der sich aus dem minimalen Schwellwert ergibt. Dieser wird durch die geringste Dosis bestimmt, die eine sichtbare und meßbare Auswirkung auf die Gesundheit hat. Der Wirkungsschwellwert ist keine absolute Grenze, sondern kann von Individuum zu Individuum schwanken, er hängt von der synergistischen Wirkung anderer ebenfalls vorhandener Schadstoffe sowie vom jeweiligen Gesundheitszustand des Betroffenen ab. Die Umgebungsluftstandards der EPA reflektieren ausgiebige toxikologische, klinische und epidemiologische Studien. Die Standards sind nicht starr, sondern werden von der EPA und

der NAS ständig überprüft und gegebenenfalls geändert, wie es z. B. 1979 mit dem Oxidantienstandard geschah. Aufgrund dieser sorgsam Festlegung können sie direkt als Schlüsselindikator möglicher Gefährdungen betrachtet werden.

Zu den limitierten Schadstoffen zählen derzeit:

- |                      |   |  |
|----------------------|---|--|
| - Kohlenwasserstoffe | } | für Fahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motoren |
| - Kohlenmonoxid      |   |  |
| - Stickstoffoxide    |   |  |
| - Partikeln          |   | nur für Diesel-Motoren                     |

Die Wirkung von Partikeln hängt sowohl von den physikalischen wie auch von den chemischen Eigenschaften der Partikel ab. Eine Deposition von Partikeln in der tieferen Alveolarzone der Lunge wird von der Partikelgröße bestimmt. Die Gestalt der Partikel (z. B. Ruß = rund; Asbest und Rost = spitz) kann die schädigende Wirkung der Partikel in der Lunge entscheidend beeinflussen. Die Ablösungsraten für organische Substanzen von den Partikeln in Gegenwart der Lungenflüssigkeit ist unbekannt.

Diesel-Partikeln haben eine komplexe Struktur. Sie bestehen aus sphärischen oder annähernd sphärischen anorganischen Kohlenstoffmatrizen verschiedener Größe, an denen unzählige organische Substanzen angelagert sind. Allein etwa 30 PAH-Verbindungen wurden auf Diesel-Partikeln identifiziert. Weiterhin sind die Entstehung von Diesel-Partikeln, ihre Koagulationseigenschaften und Reaktionskinetik noch nicht bis ins Detail geklärt.

Partikeln von Otto- und Diesel-Motoren weisen entscheidende Unterschiede auf. Diesel-Partikeln bestehen im wesentlichen aus Kohlenstoff und organischen Verbindungen. Partikeln von Nicht-Katalysator-Otto-Motoren (die mit verbleitem Kraftstoff betrieben werden), enthalten beträchtliche Mengen von Bleiverbindungen. Über Partikeln von Katalysator-bestückten Otto-Motoren ist wenig bekannt, sie weisen jedoch einen hohen Schwefelgehalt auf. Für Diesel- und Nicht-Katalysator-Otto-Motoren hängen Partikelaustritt und Zusammensetzung der adsorbierten organischen Substanzen von der Art des verwendeten Kraftstoffes ab.

Da sich die konventionelle Schadstoffbestimmung und Wirkungsforschung hauptsächlich auf die drei gasförmigen Substanzen HC, CO und NO<sub>x</sub> konzentriert haben, liegen bezüglich der Partikelemission und ihrer wissenschaftlichen Betrachtung noch immer ein unzureichender Daten- und Informationsumfang vor.

Bezüglich der Partikeln aus diesel-motorischem Abgas, liegen zweifache Bedenken vor: Diese beziehen sich einerseits auf die Wirkung der Feststoffe selbst auf Lungenfunktion und chronische Lungenkrankheiten, d. h. auf toxische Wirkungen, die von den physikalischen Eigenschaften der Partikeln abhängen. Andererseits wird die potentiell mutagene und kanzerogene Wirkung der an diesen Partikeln adsorbierten organischen Substanzen betrachtet, wobei besonders die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH = "poly-

**Bild III.5-43:** Problemkreise bei einer Wirkungsbeurteilung von Partikel-Emissionen, nach [807].

nuclear aromatic hydrocarbons" oder auch PNA = "polynuclear aromatics" als Leitsubstanzen verfolgt werden. Gegenüber der Wirkungsbetrachtung von gasförmigen Emissionen ist die Wirkungsbeurteilung von Partikel-Emissionen aus Automobilmotoren komplizierter. Die Gründe hierfür sind in Bild III. 5-43 zusammengefaßt.

#### 5.3.4.3 Nicht limitierte Schadstoffe ("unregulated pollutants")

Eine ganz andere Betrachtungsweise zur Gesundheitsbeeinflussung erfolgt bezüglich der nicht limitierten Schadstoffe. Zu diesen zählen die in Bild III. 5-44 genannten Substanzen, die im Rahmen der Zertifizierungsbemühungen eines Automobilherstellers seit Modelljahr 1979 mit zu berücksichtigen sind. Derartige Substanzen (z. B. Phenole, B(a)P, Aldehyde, Nitrosamine) sind zwar seit Jahrzehnten vorhanden, sie sind jedoch erst vor kurzem in den Vordergrund getreten. Hierbei mögen sowohl der Zwang, ausreichend sensible Meßtechniken für solche Stoffe zu entwickeln, wie auch ein erweitertes Bewußtsein für Umwelteinflüsse und Wirkungskette die Ursache gewesen sein. Da es regierungsseitig keinerlei Luftqualitätsstandards für diese Substanzen gibt, müssen neue und vielseitige Aspekte einschließende Wege zur Abschätzung und Quantifizierung einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch die "unregulated pollu-

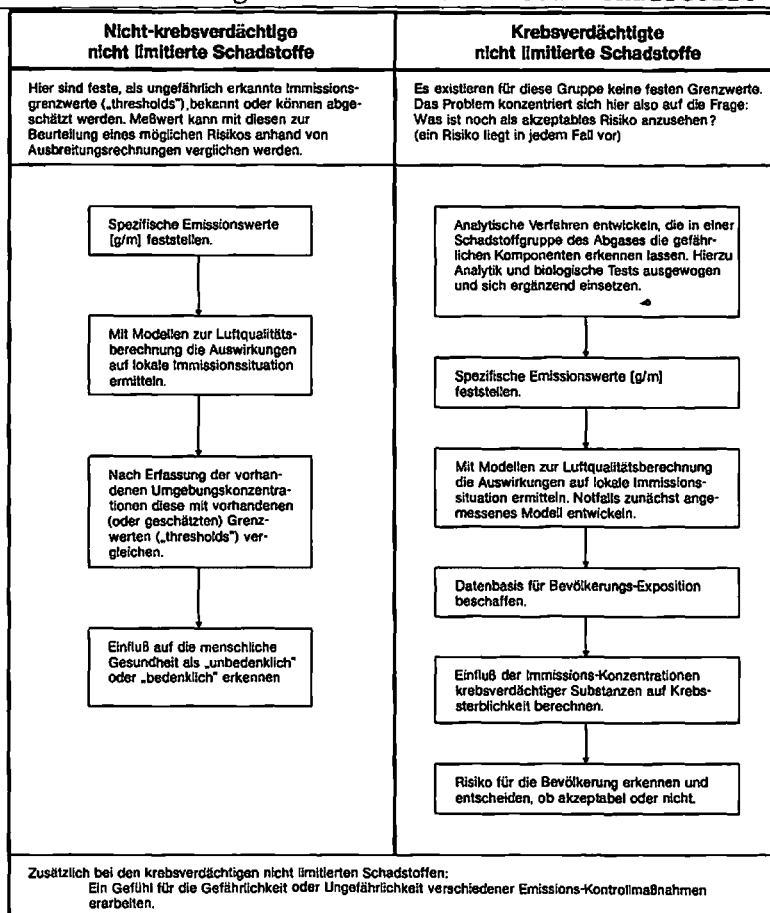


<ul style="list-style-type: none"> <li>- von Partikeln extrahierbare organische Substanzen</li> <li>- Gasförmige organische Verbindungen</li> <li>- Differenzierte Kohlenwasserstoffe</li> <li>- Benz (a) pyren</li> <li>- Geruchsstoffe</li> <li>- Aldehyde</li> <li>- Phenole</li> <li>- Carbonylsulfid</li> <li>- Schwefelwasserstoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organische Sulfide</li> <li>- Schwefelsäure</li> <li>- Sulfate</li> <li>- Blausäure</li> <li>- Gesamtcyanid</li> <li>- Ammoniak</li> <li>- Organische Amine</li> <li>- Nitrosamine</li> <li>- Nickel, Blei etc.</li> <li>- DNA-reaktive Substanzen</li> </ul>
---	--

**Bild III.5-44:** Übersicht der von der US-EPA genannten, aber zur Zeit noch nicht limitierten Schadstoffe, nach [808].

Industrieprozessen verwendet wurden, die heute jedoch als Neben- oder Zwischenprodukte bei gewissen synthetischen Vorgängen und eventuell durch atmosphärische sowie in-vivo Synthese aus Auslösesubstanzen ("precursors") entstehen [809].

Bei Untersuchungen nicht limitierter Schadstoffe trifft die US-EPA [810], wie in



**Bild III.5-45:** Aufteilung und unterschiedliche Vorgehensweise bei der Behandlung der nicht limitierten Schadstoffe, nach [810].

Annahmen (z. B. Fahrzeugpopulation, Verteilung Otto/Diesel-Motoren etc.) erwartete gesundheitliche Risiko abgeschätzt werden. Hierzu gibt es im wesentlichen sieben verschiedene Methoden, die – da in künftigen Zertifizierungsverfahren relevant – nachfolgend kurz charakterisiert werden.

#### 5.3.4.4 Methoden zur Erforschung möglicher Gesundheitsbeeinflussung durch Automobilabgase

Bild III. 5-46 zeigt die wesentlichsten z. Z. angewendeten experimentellen Verfahren

tants" eingeschlagen werden.

Für diese nicht limitierten Schadstoffe existieren bisher auch sehr wenige klinischen oder epidemiologische Untersuchungen. So ist z. B. die Erkenntnis daß Nitrosamine als atmosphärische Verunreinigung vorliegen, erst 4 bis 5 Jahre alt. Nitrosamine sind krebserzeugende Substanzen, die zunächst in

Bild III. 5-45 gezeigt, eine

weitere Unterscheidung zwischen den

- nicht krebsverdächtigen ("non-carcinogenic unregulated pollutants") und den
- krebsverdächtigen ("carcinogenic unregulated pollutants")

Für die ersten ("nur" toxischen Substanzen) kann man Grenzwerte aufstellen, für die zweiten (kanzerogenen Stoffe) ist kein Grenzwert festlegbar, da derzeit kein "no effect level" medizinisch zu begründen ist. Da sich also Grenzwerte für die besonders entscheidende Gruppe der kanzerogenen Stoffe nicht bestimmen lassen, muß das vorhandene oder unter bestimmten

	Verfahren	Hauptmerkmal
1	Biochemische Studien	Prüfen Bildung der ultimalen Karzinogene und deren Wirkung auf die Erbsubstanz (RNS, DNS)
2	In-vitro Bakterien-Tests	Prüfen Fähigkeit einer Substanz oder eines Substanzgemisches, Mutationen von Bakterien zu bewirken
3	In-vitro Zell-Tests	Prüfen Fähigkeit einer Substanz oder eines Substanzgemisches, bei Säugetierzellen mutagen und/oder kanzerogen zu wirken
4	In-vivo Nicht-Inhalations-Tests	Prüfung von Testsubstanzen im Tierversuch bei verschiedenen (Nicht-Inhalations-) Applikationen
5	In-vivo Inhalations-Tests	Prüfung von Testsubstanzen im Tierversuch durch Inhalation
6	Klinische Studien	Freiwillige Versuchspersonen werden geringen Umwelt-nahen Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt
7	Epidemiologische Studien	Überwachen den Gesundheitszustand ausgewählter Bevölkerungsgruppen, die bestimmten (bekannten) Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt sind

zur Abschätzung möglicher Gesundheitsgefahren durch Automobilabgase. Jede Untersuchungsart hat gewisse Vor- und Nachteile, und eigentlich müßte ein umfassendes Wirkungs-Forschungsprogramm alle sieben Verfahren zur Entscheidungsfindung heranziehen. Die grundsätzlichen Erkenntnisse, die jeweiligen Vor- und Nachteile sowie die Problembereiche dieser Methoden sind in Bild III. 5-47 zusammengefaßt.

Wegen seiner Einfachheit wird hierbei

der "Ames-Test" {812} trotz aller zu

**Bild III.5-46:** Die bekanntesten Verfahren zur Abschätzung eines möglichen Gesundheitsrisikos durch Automobil-Abgase, nach [811].

berücksichtigenden Einschränkungen nach wie vor als schneller, billiger Auswahltest ("screening test") in vielen Untersuchungen mit Automobilabgas angewendet, und er soll daher an dieser Stelle kurz beschrieben werden. Ebenso ist es erforderlich, zum Verständnis des Themas "Automobilabgas und Kanzerogenität" einige Ausführungen über

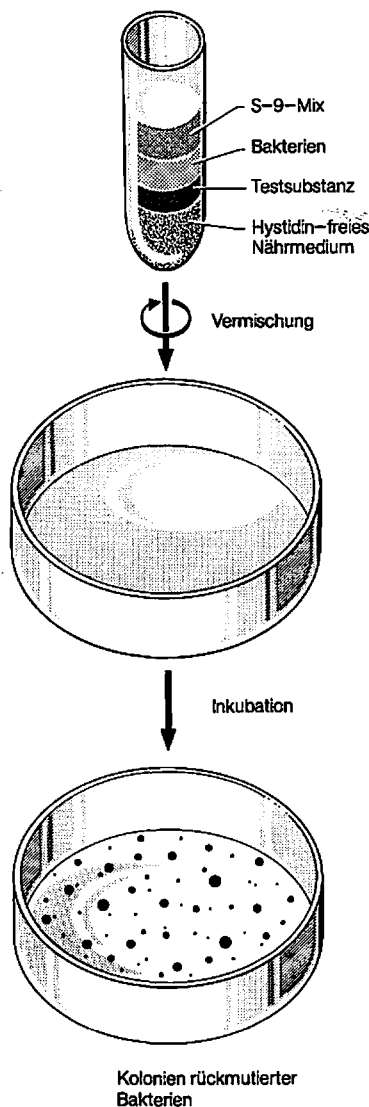
den Wirkungsmechanismus des als Leitsubstanz für PAH's betrachteten und daher meist untersuchten B(a)P anzuschließen.

#### 5.3.4.5 Der "Ames-Test"

Dieser "in-vitro" Test prüft das mutagene Potential einer Substanz anhand von Bakterienstämmen (z. B. salmonella typhimurium). Da Bakterien keine dem Säugetier ähnlichen Stoffwechsel haben, wird der Ames-Test (im hier diskutierten Zusammenhang) auch mit "metabolischer Aktivierung" durchgeführt. Dies bedeutet, daß der Säugetierstoffwechsel im (Bakterien-) Ames-Test durch eine (Säugetier-) Leberpräparation, den sogenannten "S-9 Mix" nachgeahmt wird. Die Leber wiederum wird benutzt, da sie das wichtigste Organ im Körper ist, das Stoffwechselenzyme produziert.

Eine Nachahmung des Stoffwechsels ist wichtig, da viele Substanzen (z. B. PAH's) erst im Stoffwechsel zu krebserregenden (Stoffwechsel-) Produkten umgewandelt werden, wie detailliert am Beispiel des B(a)P im nächsten Kapitel gezeigt wird.

Bild III. 5-48 veranschaulicht den Ablauf eines Ames-Tests. Die Testsubstanz (z. B. B(a)P), die (vormutierten) Bakterien und die Leberpräparation (der S-9 Mix) werden zusammen mit einem (hystidinfreien) Nährmedium vermischt und in ei-



**Bild III.5-48:** Der „Ames-Test“, [811].

Verfahren	Erkenntnisse – Vorteile – Nachteile – Probleme
<b>Biochemische Tests</b>	Biochemische Tests überprüfen die Reaktionen der aktiven Formen von Karzinogenen mit nukleophilen Zentren von biologischen Makromolekülen, z. B. auf Protein, RNS (Ribonucleinsäure), DNS (Desoxyribonucleinsäure). Diese Tests sind ein nützliches Werkzeug bei der Erforschung des biochemischen Mechanismus bei chemischer Karzinogenese. Sie geben darüber hinaus ein direktes Maß für die Dosis, die eine bestimmte Zellkultur oder ein Tier erhalten hat. Diese Methode wird speziell bei der Dosis/Wirkung-Untersuchung beim Menschen angewendet und ist theoretisch sehr sensitiv. Der Nachteil ist, daß es sich um eine ziemlich spezialisierte Technik handelt, die ein gut ausgerüstetes biochemisches Labor erfordert. Daher bleibt ihre Anwendung nur wenigen Forschungslabors vorbehalten. Untersuchungsergebnisse liegen nur in geringem Umfang vor.
<b>In-vitro Bakterien-Tests</b>	In-vitro Bakterien-Tests prüfen die Mutagenität, d. h. die Fähigkeit eines Stoffes oder Gemisches, eine Mutation hervorzurufen. Der am meisten angewandte und auch von der EPA anerkannte Test dieser Art ist der „Ames-Test“. Es besteht Uneinigkeit darüber, ob der Ames-Test zur Vorhersage einer Krebserkrankung verwendet werden kann. Der Hauptnachteil dieser Technik ist die Tatsache, daß sie sowohl falsche positive wie auch falsche negative Resultate liefern kann, wobei das letztere schwerwiegendere Konsequenzen hat. Darüber hinaus kann aufgrund von biochemischen (enzymbedingten) Unterschieden zwischen verschiedenen Tierarten, die Aktivierung von Teststoffen durch andere Mikroorganismen, die von einer Gattung isoliert wurden, positive Ames-Test-Resultate ergeben, während die Überprüfung auf Krebserzeugung in einer anderen Tierart negative Ergebnisse zeigen kann. Ashby und Styles haben außerdem 14 Variablen identifiziert, die das numerische Ames-Test-Ergebnis beeinflussen können. Ein spezielles Problem taucht bei der Vorbereitung von Leber-Mikrosomen auf. Je nach Art dieser Vorbereitung kann das Ergebnis, bezüglich der beobachteten Mutagenität von B (a) P, um mehr als den Faktor 100 streuen. Diese Enzym-Niveaus variieren auch mit der Ernährung und Belastungen. Kritiker sagen, daß keine Korrelation zwischen Ames-Test-Ergebnissen und Krebsverursachungs-Potential gezogen werden sollte. Dies gilt besonders für: PAH's, Nitrosamine, polychlorierte zyklische Verbindungen, Azonaphtole sowie symmetrische Hydrazine und Steroide, die eine hohe Rate falscher negativer Ergebnisse liefern. Verschiedene Labors versuchen z. B. in Studien die Vergleichbarkeit von In-vitro Tests mit Tierexperimenten zu überprüfen. Eine Übertragung der Ames-Test-Resultate auf die menschliche Gesundheit ist nicht möglich. Der Ames-Test ist jedoch ein schneller und billiger Auswahltest, der zusammen mit anderen Kurzzeit-In-vitro-Tests einen Hinweis geben kann, welche Stoffe z. B. mutagene oder kanzerogene Wirkung beim Menschen haben könnten. Der Ames-Test kann damit eine Hilfe sein, in welcher Richtung die Überprüfung eines Stoffes fortgesetzt werden sollte.
<b>In-vitro Zell-Transformations-Tests</b>	Diese Zell-Transformations-Versuche beinhalten Tests auf Mutagenität und Kanzerogenität in Säugetierzellen. Mutagenität wird auf verschiedene Arten festgestellt. Kanzerogenität wird als Zell-Transformation bestimmt, die zu einem vertikalen Aufbau von Zellen oder transformierten Zellhaufen gegen den Hintergrund der normalen Einzelschicht der Zelle führt. Dieser Test-Typ ist eine schnelle und billige Methode um herauszufinden, ob ein Stoff in einem System, das dem Menschen mehr ähnelt als beim Bakterientest, mutagen oder karzinogen wirkt. Besonders relevant wären hierbei Studien mit menschlichen Zellen. Die Ergebnisse könnten zwar nicht quantitative, aber zumindest doch qualitative Aussagen machen. Obwohl es eine wertvolle Methode zur Beurteilung der Mutagenität und des in einer Substanz liegenden toxikologischen Risikos darstellt, dürfen folgende generelle Probleme des Zelltransformationstests nicht übersehen werden: Bis heute ist die Züchtung frischer Zellen und das Erreichen eines gleichmäßigen Wachstums ohne Hilfsmaßnahmen, wie vermehrten Zusatz von Serum, Verwendung einer „feeder“-Zellschicht oder Insulinzugabe schwierig. Bei letzterer wurde z. B. eine toxizitätsverstärkende Wirkung von Benzo (a) pyren nachgewiesen. Grundsätzlicher Nachteil von In-vitro Tests ist, daß die Resorption, der Stoffwechsel, die Verteilung und die Ausscheidung, wie sie beim Tier und beim Menschen vorliegen, nicht berücksichtigt werden.
<b>In-vivo Nicht-Inhalationsversuche</b>	Bei dieser Testart werden zwar lebende Tiere eingesetzt, die Applikation der Testsubstanz(en) erfolgt jedoch nicht durch Einatmen, sondern z. B. durch subkutane Injektion, intraperitoneale Injektion, orale oder rektale Einbringung. Der Versuch führt im Prinzip zu Mutationen oder Krebs. Der Wert experimenteller Ergebnisse von In-vivo Versuchen wird von deren Aussagekraft bestimmt. Er hängt damit von Verfahren der Exposition, der verwendeten Tierart, Expositionszeiten und Dosen, Herkunft des Testmaterials (reine Substanz, organischer Extrakt von Diesel-Abgaspartikeln oder Abgaskondensat) sowie der Anzahl von Versuchstieren ab. Krebsauslösung, die in diesen Studien als Tumorbildung ausgedrückt wird, wird als 2-Phasen-Prozess (Auflösung und Förderung) angesehen. Diese zwei Phasen müssen aufeinander folgen um Krebs zu erhalten. Als Auslösevorgang wird hierbei die chemische Veränderung der DNA durch das aktivierte Karzinogen betrachtet. Der Vorgang der Krebsförderung ist weniger erforscht. Die Verwendung von lebenden Tieren erlaubt es, krebsfördernde Substanzen, Co-Karzinogene und synergistisch wirkende Stoffe ebenso wie Kanzerogene selbst zu betrachten. Der Nachteil dieser Versuche ist, daß sie sehr teuer sind und Monate, wenn nicht gar Jahre in Anspruch nehmen. Eine qualitative Extrapolation von Tierversuchs-Ergebnissen auf den Menschen ist möglich, und man erhält eine Aussage, welche Stoffe wahrscheinlich auch im menschlichen Organismus mutagen oder kanzerogen wirken. Da – bezogen auf das Körpergewicht – die verwendeten Dosen jedoch im Tierversuch meist viel höher sind, als sie der Mensch aus seiner Umwelt aufnehmen würde, sind quantitative Rückschlüsse nicht möglich. – Bei Hautauftragung und subkutaner Applikation muß beachtet werden, daß diese Anwendungsarten zusätzliche Reizungen hervorrufen und sich von der Abgaseinwirkung auf den Menschen durch folgendes unterscheiden: 1. Zusatzwirkung des Lösungsmittels, 2. Störung der natürlichen Stoffwechselmechanismen der Haut, 3. Konzentration des Schadstoffs und Häufigkeit der Auftragung meist anomal hoch, Erholungspausen fehlen, 4. Versuchstiere sind aufgrund der Käfighaltung gegenüber der Wildform reizempfindlicher, 5. eine möglicherweise mangelnde Hygiene bei der Versuchstierhaltung fördert Infektionen und schwächt Abwehrreaktionen. Weiter ist zur Übertragbarkeit der Resultate auf den Menschen zu beachten: 6. Versuchstiere haben einen anderen Hautaufbau, 7. der Verteilungsmechanismus des Schadstoffes im Körper erfolgt anders als beim Menschen, 8. synergistische und antagonistische Wirkungen beim Menschen und beim Versuchstier sind nicht vergleichbar. – Bei intravenöser Eingabe der zu testenden Substanz kann neben den schon genannten Problemen eine Fehlbewertung durch das Umgehen der natürlichen Selbstreinigungsmechanismen zustande kommen. – Das Verabreichen der Testsubstanzen „per os“ bringt die Gefahr einseitiger Ernährung der Versuchstiere mit sich. Zusammen mit zu hohen Konzentrationen treten beim Tier unrealistische Störungen des Stoffwechsels auf. Die Rolle der Enzyme bei Metabolismus (Stoffwechselvorgang) der in den Verdauungstrakt gelangten Substanzen ist bei Mensch und Versuchstier sicher unterschiedlich, da die Geschwindigkeit des Abbaus und die Verweilzeiten von eventuell schädlichen Zwischen- und Zerfallsstufen von aufgenommenen Substanzen nicht vergleichbar sind. – Bei Instillation (Einträufelung) der Versuchsstoffe in die Tierlunge müssen die unrealistisch hohen Konzentrationen (Stoffkondensat) und die Verletzungsgefahr als entscheidende Vorbehalte angemeldet werden. Die unkontrollierte Anreicherung der Substanzen an Bronchialverzweigungsstellen und die Umgehung einzelner Schutzmechanismen (Vorfiltration durch den Nasen- und Rachenraum) schränken hier eine sinnvolle Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Menschen ein. Darüber hinaus besteht die Gefahr, daß bei der Instillation der lokale Selbstreinigungsmechanismus in der Lunge vollständig unterbunden wird.
<b>In-vivo Inhalationsversuche</b>	Diese Versuche ergeben außer den mutagenen oder kanzerogenen Endstoffen, Daten über toxische – jedoch nicht krebs erzeugende – Effekte, z. B. Veränderungen der Lungenfunktion, Auftreten von chronischen Lungen-erkrankungen. Der Vorteil von In-vivo Inhalationsversuchen ist die Übereinstimmung des Weges, auf dem der Schadstoff in den Organismus eindringt, mit dem für den Menschen gültigen Ablauf. Bezüglich Dieselabgas sind daher Inhalationsexperimente mit Tieren naheliegend. Die Güte der Tests und ihrer Ergebnisse hängen von den gleichen Kriterien ab, die zuvor bei den In-vivo Nicht-Inhalationsversuchen genannt wurden. Zusätzlich ist bekannt, daß die Atemfrequenz der Versuchstiere von der des Menschen abweicht. Außerdem können Deposition, Desorption angelagerter Stoffe und Exhalation aufgrund der unterschiedlichen Dimension von Versuchstier- und Menschenlunge bei gleicher Partikelgröße nicht verglichen werden. Auch der bei gegebener Partikelgröße und -morphologie in Wirkungsgrad, Intensität und Funktionsweise ganz sicher stark unterschiedliche Selbstreinigungsmechanismus der Lunge (besonders bei Klein-)Tier und Mensch schränkt die Übertragbarkeit der Tierversuchs-Ergebnisse auf den Menschen ein. Ebenso gilt das zuvor zur Rolle der Enzyme beim Metabolismus Gesagte auch für die in die Tierlunge gelangenden Substanzen.
<b>Klinische Untersuchungen</b>	Hierbei werden Freiwillige niedrigen Partikel-Konzentrationen mit oder ohne Reizgasen ausgesetzt. Daraufhin werden die Auswirkungen auf die Lungenfunktion gemessen. Derartige Studien ergeben direkt ein Maß dafür, wie der Mensch auf Schadstoffkonzentrationen (wie er ihnen in der Umwelt ausgesetzt ist) reagiert. Natürlich limitieren ethische Grenzen diese Studien auf toxische, nicht-kanzerogene, reversible Effekte. Die Anzahl solcher Untersuchungen ist begrenzt.
<b>Epidemiologische Untersuchungen</b>	Epidemiologische Studien überprüfen und überwachen den Gesundheitsstatus ausgewählter Bevölkerungsgruppen und versuchen ihn mit Schadstoff-Niveaus zu korrelieren, denen diese Bevölkerungsgruppe ausgesetzt ist. Derartige Untersuchungen sind bezüglich einer Aussage darüber, wie der Mensch schließlich auf Schadstoffkonzentrationen in seiner Umwelt reagiert, am aussagekräftigsten. Es können z. B. auch Aussagen über die Auswirkung von über Jahren akkumulierten Schadstoffdosen auf die menschliche Gesundheit gemacht werden. Als Problem dieser Studien muß die Schwierigkeit genannt werden, eine geeignete Kontroll-Bevölkerungsgruppe zu identifizieren. Weiterhin müßten die Expositionsdaten exakt bekannt sein, was nicht immer der Fall ist. Schließlich hat Krebs eine Latenzzeit von 10 oder mehr Jahren im menschlichen Organismus, wodurch der Zeitrahmen nützlicher Studien begrenzt wird. Die Schwierigkeit, z. B. den vermuteten Zusammenhang zwischen den gestiegenen Lungenkrebsmortalitätsraten und der gesamten Luftverschmutzung durch epidemiologische Studien nachweisen zu können, zeigen z. B. Studien in [a]: „Fairbairn und Reid fanden bei der Untersuchung von Postangestellten keine Beziehung zwischen Luftverschmutzung und Lungenkrebs. Nach Raffle ist der Lungenkrebs beim Londoner Buserpersonal nicht häufiger als in der übrigen Bevölkerung. Nach Kaplan findet man höchste Lungenkrebsmortalität bei Büroangestellten. Lawther stellte fest: „In London ist die Luftverunreinigung seit Beginn des Jahrhunderts infolge Verbesserung der Technologien stark zurückgegangen, während die Zunahme des Lungenkrebses genau in diese Periode fällt. Auf den Kanälen liegen Zigarettenkonsum und Lungenkrebshäufigkeit sehr hoch, während die Luftverschmutzung unbedeutend ist. Auch in Finnland ist die Luftverschmutzung gering, die Sterblichkeit an Lungenkrebs dagegen hoch. In Norwegen ist nach Kreyberg die Luftverschmutzung in den Städten gering, der Unterschied in der Sterblichkeit an Lungenkrebs zwischen Stadt und Land jedoch größer als in London. In den USA ist bei Personen, die aus religiösen Gründen nicht rauchen die Lungenkrebshäufigkeit dieselbe, gleichgültig ob sie in Gebieten mit starker oder geringer Luftverschmutzung wohnen.“

[a] Högger, D.: Auswirkungen der Motorfahrzeugabgase auf Menschen, Tiere und Pflanzen. Studie im Auftrag des CCMC. Zürich 1975, S. 30

**Bild III.5-47:** Charakterisierung von Verfahren, die zur Abschätzung des Einflusses von Automobilabgas auf die menschliche Gesundheit relevant sind oder praktisch angewendet werden, nach [811].

nem Petri-Schälchen  $\approx$  24 Stunden in einem sterilen Trockenraum bei 37,5 °C abgestellt. Die (vormutierten) Bakterien sind so ausgewählt, daß sie normalerweise nur auf einem Nährmedium wachsen können, das Hystidin (Aminosäure) enthält. Der Bakterienstamm dürfte also nicht wachsen, da hystidinfreies Nährmedium verwendet wurde. Wenn die Testsubstanz (z. B. B(a)P) rückmutierend wirkt, wachsen die Bakterien jedoch, und es erscheinen im Petri-Schälchen Flecken d. h. Kolonien rückmutierter Bakterien. Die Anzahl dieser sogenannten "revertants" wird durch einfaches Auszählen bestimmt und ist ein Maß für die Stärke der mutagenen Wirkung einer Testsubstanz.

Der Ames-Test ist ein schneller billiger Ja-Nein Test (Substanz wirkt für Bakterien mutagen oder nicht), er kann jedoch noch keine Aussage über die Gesundheitsschädlichkeit der Testsubstanz beim Menschen machen. In gewissen Fällen ergibt er sogar bei krebserregenden Substanzen ein negatives Resultat [813].

#### 5.3.4.6 Karzinogenese durch Benz(a)pyren

Da meist das Benz(a)pyren in der Literatur und in Diskussionen als Leitsubstanz der krebserregenden PAH's im Autoabgas genannt wird, soll die Wirkung dieser Substanz und ihr Stoffwechsel kurz erläutert werden. B(a)P wird hierbei als "Präcarcinogen"

bezeichnet, weil es auch in hohen Konzentrationen direkt nicht krebserregend wirkt. Bild III. 5-49 veranschaulicht, wie dieses "Präcarcinogen" im Körper mit dem Oxidationsenzym P 450 zu einer Zwischenstufe "verstoffwechselt" wird (metabolisiert). Die entstehende Zwischenstufe enthält im Außenring ein Sauerstoffatom (Epoxid-Ring) und wird als "Arenoxid" bezeichnet.

Das Ziel eines jeden Stoffwechsels ist einerseits die Energiegewinnung, andererseits gilt es aber auch, die unlöslichen Substanzen wasserlöslich zu machen, damit sie ausgeschieden werden können. Dieser Vorgang des Bereitmachens des Arenoxids zur Ausscheidung (z. B. als Phenol) heißt Detoxifizierung. Gleichzeitig erfolgt eine Hydrolyse des Epoxids (Arenoxids), d. h. Wasseranlagerung, und es bildet sich das "Trans-Dihydrodiol" (TDD). Sowohl das Arenoxid

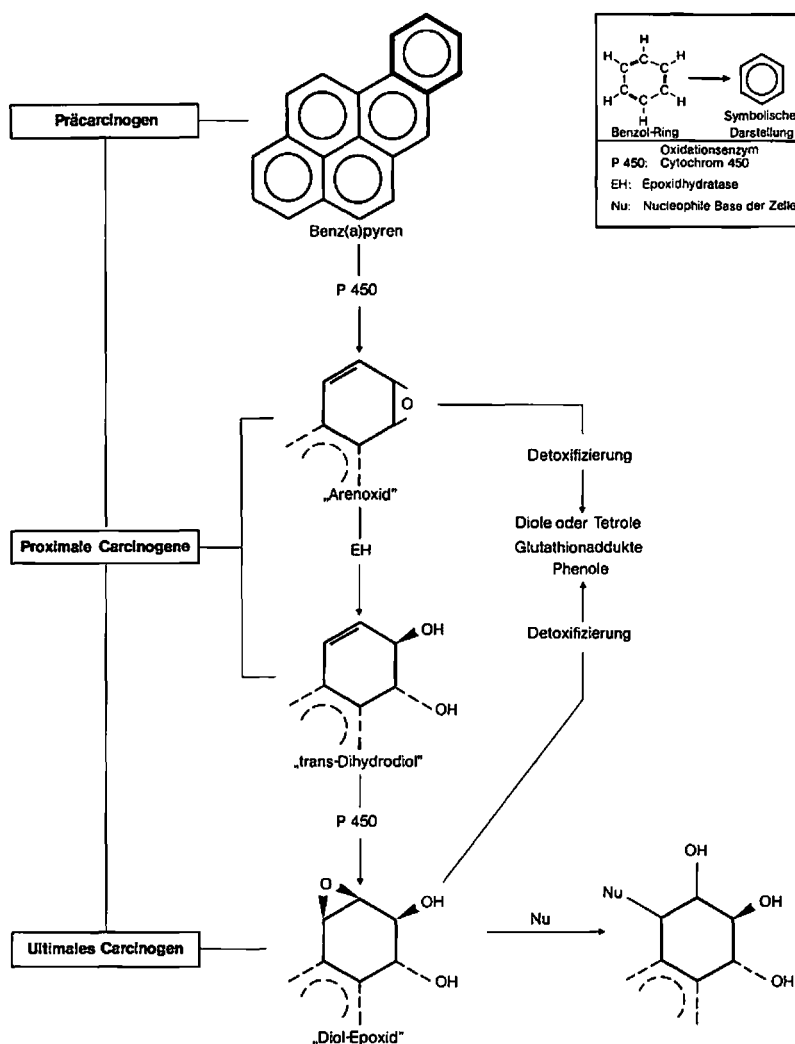


Bild III.5-49: Karzinogenese durch Benz(a)pyren, nach [811].

wie auch das TDD werden als "Proximale Carcinogene" bezeichnet, da sie zwar selbst immer noch keinen Krebs erzeugen, aber der krebserzeugenden Endstufe dieses Stoff-  
wechselvorganges schon näher kommen.

Durch das Oxidations-Enzym P450 wird die Doppelbindung des TDD aufgebrochen und ein Sauerstoffatom angelagert, wodurch das Diol-Epoxid entsteht (Diol = 2 OH-Gruppen, Epoxid = Sauerstoffatom im Außenring). Das Diol-Epoxid kann wieder detoxifiziert (d. h. wasserlöslich) gemacht und (z. B. in Form eines Tetrols) ausgeschieden werden. Es reagiert jedoch auch mit einer Base (Nucleophil) der DNS (Desoxyribonucleinsäure) und stellt damit - denn diese Schädigung der DNS im Zellkern ist nicht mehr reversibel und damit vererbbar (mutagen) - ein "Ultimales Carcinogen" dar. Der sogenannte "DNS-repair mechanism" kann derartige Schädigungen nur in Grenzen neutralisieren, viele Schritte der oben beschriebenen Mutation führen jedoch schließlich nach einer derzeit anerkannten Arbeitshypothese zur Krebserkrankung {814}.

### 5.3.4.7 Rußpartikeln und B(a)P im Dieselabgas

Zum Thema Rußpartikeln im Dieselabgas wurden bereits in Teil I allgemeine Aussagen über Entstehung und Struktur (Morphologie) gemacht. Im Zusammenhang mit der Betrachtung von Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind jedoch noch einige ergänzende Ausführungen erforderlich.

Substanz	Formel	Potential zur Krebsverursachung
Chrysen Benzo (c) phenantren Benz (a) anthracen	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	unklar +++ +
Benzo (c) pyren Benzo (a) pyren Benzo (b) fluoranthen Benzo (j) fluoranthen	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	+ +++ ++ ++
Benz (j) aceanthralen	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub>	++
7,12-dimethylbenz (a) anthracen	C <sub>20</sub> H <sub>16</sub>	++++
Dibenzo (a, g) fluoren	C <sub>21</sub> H <sub>14</sub>	+
Dibenzo (c, g) carbazol	C <sub>20</sub> H <sub>13</sub> N	+++
Indeno (1, 2, 3-cd) pyren	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	+
Dibenz (a, h) anthracen Dibenz (a, j) anthracen Dibenz (a, c) anthracen	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	+++ + +

+ krebserregend; ++ stark krebserregend; +++ ,++++ sehr stark krebserregend (NAS-Einstufung)

**Bild III.5-50:** Krebserregende Substanzen an Dieselabgas-Partikeln, nach [815, 816].

B(a)P wurden noch weitere krebserregende an Rußpartikeln angelagerte Substanzen identifiziert. Diese sind in Bild III. 5-50 zusammengestellt.

Die Verwendung von B(a)P als Index oder Maß für die Gesundheitsschädlichkeit von Dieselabgas-Partikeln hat jedoch zwei Unsicherheiten: Erstens weisen die Meßmethoden für B(a)P im Fahrzeugabgas fragwürdige Genauigkeit auf (Sammel-Wirkungsgrad der Filter und Reaktionen auf den Filtern, Analysenverfahren). Zweitens sind die mit B(a)P durchgeführten Wirkungsuntersuchungen meist nicht für die Wirkung von Diesel-Abgas auf die menschliche Gesundheit relevant, da die Applikation von B(a)P in derartigen Ver-

Eine reine Rußpartikel wäre kein Anlaß zu gesundheitlichen Bedenken, es sei denn, große inhalierte Mengen führten auf pysikalischem Wege zu einer Erkrankung. So interessieren bei den im Diesel-Abgas enthaltenen Ruß-Partikeln auch in erster Linie die den Partikeln angelagerten organischen Stoffe, die sogenannten PBO's ("particle bound organics") und hierbei wiederum die sogenannten BSO's ("benzene soluble organics"), d. h. die benzollöslichen organischen Substanzen, von denen als Leitsubstanz krebverdächtiger Stoffe besonders das B(a)P untersucht wird. Außer

suchen selten der realistischen Aufnahme beim Menschen (Inhalation) entspricht.

Wichtig ist, daß die Adsorption von B(a)P an Partikeln sowohl Reinigungswirkung als auch Stoffwechsel im Körper beeinflussen. Wenn z. B. B(a)P mit Partikeln aus der Luft oder mit Eisenoxidpartikeln eingegeben wurden, traten Lungentumoren auf. Man vermutet, daß das adsorbierte B(a)P von den Makrophagen abgelöst wird: Je nach Größe der Partikeln erfolgt auch eine Selbstreinigung der Lunge und je nach chemischem Milieu in der Lunge auch nur eine bestimmte Ablösung der PBO's. In einer Untersuchung aus dem Jahre 1976 {817} wurde radioaktiv markiertes B(a)P, an Partikeln angelagert, in die Lungen von Mäusen eingebracht. Innerhalb von 4 bis 5 Tagen waren größere Partikeln ( $> 1 \mu\text{m}$ ) wieder ausgeschieden und nur wenig B(a)P abgelöst. Bei kleineren Partikeln, wie sie im Dieselabgas vorkommen (0,5 bis  $1\mu\text{m}$ ), war die 50 %-Rate nach 7 Tagen erreicht und etwa 50 % B(a)P war abgetrennt. Es wurde außerdem festgestellt, daß B(a)P ohne den Träger "Partikel" eine viel längere Rückhaltezeit in der Lunge aufwies als in adsorbiertem Zustand. Diese Tatsache müßte bei der Gestaltung von Wirkungsuntersuchungen berücksichtigt werden.

Interessanterweise zeigen die Schadstoffe TSP ("total suspended particulates")  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  und Blei, vermutlich durch Verhinderung des Selbstreinigungseffektes der Lunge, synergistische Effekte mit B(a)P bei der Krebserzeugung, wodurch wiederum die zur Verfü- gung stehende Ablösezeit für B(a)P von den Partikeln in der Lunge länger wird {818}.

Obwohl im Dieselabgas außer dem B(a)P die in Bild III. 5-50 gezeigten potentiell krebserregenden Stoffe festgestellt wurden, muß bedacht werden, daß diese Feststellung allein noch keine Aussage über die tatsächliche Gesundheitsgefahr für den Menschen zuläßt. Hier schließen wieder direkt Betrachtungen der realen Emissionsverhältnisse, der Größenverteilung von Abgas-Partikeln, der Oberfläche dieser Partikeln und damit der Bindungsfestigkeit von angelagerten Stoffen sowie des Selbstreinigungsmechanismus des menschlichen Atmungsstraktes an. In einem detaillierten Versuch zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch Abgase (insbesondere durch B(a)P an Rußpartikeln) von Diesel-Motoren kam im Juni 1979 die EEA zu folgenden Schlußfolgerungen {819}:

- Die größte Quelle von B(a)P für Menschen, die nicht aus Berufsgründen B(a)P-Belastungen ausgesetzt sind, ist das Rauchen.
- Arbeiter in bestimmten Berufen sind noch einer bis zu mehreren Größenordnungen höheren B(a)P-Belastung ausgesetzt als Raucher beim Rauchen.
- Die B(a)P-Belastung durch sämtliche Motorfahrzeuge ist klein im Vergleich zu anderen Quellen, stellt jedoch eine erkennbare Belastung für Menschen dar, die nicht rauchen und auch nicht aus Berufsgründen B(a)P-Immissionen ausgesetzt sind.
- Der Beitrag von Diesel-Motoren zur B(a)P-Belastung und auch zur Belastung durch Rußpartikeln und andere PAH's ist sehr gering im Vergleich zu anderen Quellen aus dem Transportwesen.

Abschließend sei noch auf eine wesentliche Differenz bei der Messung dieser den Partikeln angelagerten Substanzen hingewiesen, die zwischen Europa und den USA existiert. In Europa werden die auf einem Filter im Abgas-Vollstrom gesammelten Rußmassen und das Kondensatz zur Bestimmung und Analyse der Masse emittierter Substanzen (Kohlenwasserstoffe) herangezogen [820]. In den USA wird (z. B. von Bradow/EPA, Research Triangle Park, North Carolina) nur die am Filter gesammelte Rußmasse analysiert wegen der Befürchtung, im Kondensat Kunstprodukte zu erzeugen (und damit auch zu bewerten), die im Original-Dieselabgas gar nicht vorhanden waren.

#### 5.3.4.8 Luftqualitäts-Betrachtungen

Die laut "Clean Air Act" geforderten Nachweise der Gesundheitsunschädlichkeit des Automobilabgases für die Bevölkerung kann allein aus den Ergebnissen von Wirkungsuntersuchungen nicht erbracht werden. Unumgänglich ist die Kenntnis der real zu erwartenden Umweltsituationen, d. h. der kurzzeitigen Belastung des einzelnen Individuums durch lokale und der Langzeitbelastung von Bevölkerungsgruppen durch großflächige Emissionsverhältnisse. Wie Bild III. 5-51 zeigt, ist die aktuelle Emissionssituation,

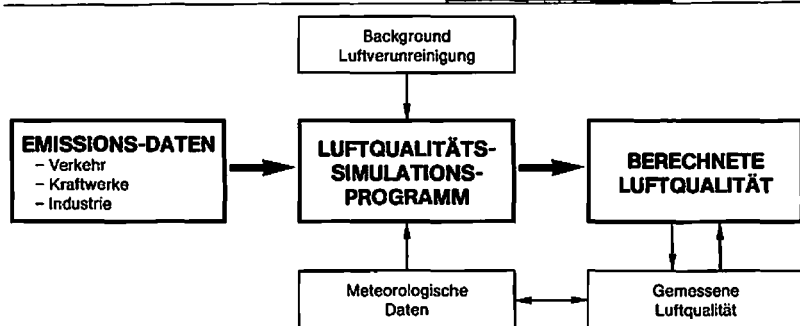


Bild III.5-51: Einflußgrößen-Blockdiagramm zur Luftqualitäts-Berechnung, [821].

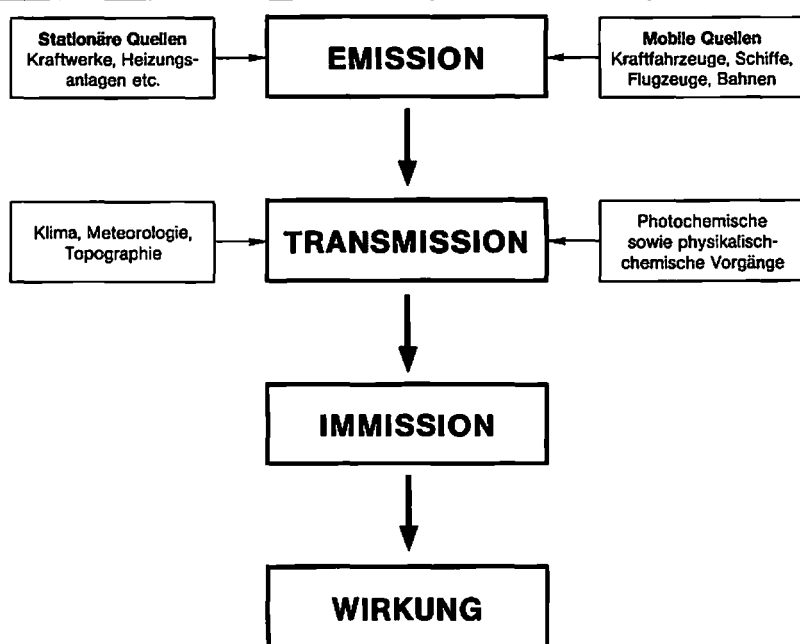


Bild III.5-52: Kausalkette zwischen Emission und Wirkung, [821].

chender Form veröffentlicht wurden. Zu den vorhandenen Verfahren von Modellrechnungen sei folgendes angemerkt:

d. h. die Belastung der Atmosphäre durch luftfremde Stoffe abhängig von:

- Emissionssituation der einzelnen Emittentengruppen
- Ausbreitungsbedingungen durch meteorologische Einflüsse und chemische Vorgänge (Folgereaktionen) in der Atmosphäre

-örtliche Gegebenheiten ("background")

Die genannten Zusammenhänge von der Emission bis zur Wirkungsbetrachtung sind noch einmal als Blockdiagramm in Bild III. 5-52 dargestellt. Zur rechnerischen Simulation dieser Vorgänge sind neben einem geeigneten Rechenmodell umfangreiche Meßdaten zu den dargestellten Einflußgrößen erforderlich. Die Rechnungen können derzeit nur für Regionen durchgeführt werden, in denen Messungen zur Überwachung der Emissions- und Immissionssituation über mehrere Jahre durchgeführt und in entsprechen-

Grundsätzliche Schwierigkeiten bei Modellrechnungen
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Systematische und aktuelle Erfassung und Eingabe analytischer und meteorologischer Daten</li> <li>2. Richtige Berücksichtigung von Sekundär-Emissionen</li> <li>3. Unsicherheiten der Belastungsmessung</li> <li>4. Unsicherheiten bei den Emissionsdaten</li> <li>5. Unsicherheiten des Ausbreitungsmodells</li> <li>6. Unvollständige Repräsentanz der meteorologischen Daten: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fehlen von Daten (Mittelwerten) über Windrichtung, -geschwindigkeit und -stärke</li> <li>- Fehlen von diesbezüglichen Kurzzeitdaten</li> <li>- Berücksichtigung von meteorologischen Zwischenfällen (Sturm, Regen, Reif, Schnee, Nebel)</li> </ul> </li> <li>7. Fehlende Berücksichtigung der Vorbelastung aus Nachbargebieten (Fernwirkung)</li> <li>8. Fehlende Kontrolle durch Nachmessungen der berechneten Immissionen, insbesondere für die noch nicht limitierten Schadstoffe, da Meßnetze nur in wenigen Städten und auch meist nur für HC, CO und eventuell NO<sub>x</sub> vorhanden sind.</li> </ol>
Probleme bei der Bewertung von Immissions-Konzentrationen
<ol style="list-style-type: none"> <li>9. Massenbilanzen allein sind nicht aussagekräftig, solange die Transmission ungeklärt ist.</li> <li>10. Bei manchen Komponenten, z. B. den Partikeln, ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Teilchengröße notwendig.</li> <li>11. Schwierigkeit, die Aufenthaltsdauer einer Bevölkerungsgruppe in der jeweiligen lokalen Immission zu bestimmen.</li> </ol>

Bild III.5-53: Schwierigkeiten bei Modellrechnungen und der Bewertung von Immissionskonzentrationen, nach [821].

Einfache Modelle (z. B. "Roll-Back" Technik) können zwar als Näherung angewandt werden, sie haben aber deutliche Schwächen bei der örtlichen und zeitlichen Auflösung. Immissionskonzentrationen für eine bestimmte Straße und für eine Höhe in dieser Straße und Tagesmittelwerte oder Stundenmittelwerte - wie von der EPA bei der Ausarbeitung der 1979er NO<sub>x</sub>-Hearings-Unterlagen verlangt - können nicht erwartet werden.

Komplexe "Grid-Modelle" dagegen,

die teilweise diese Schwächen nicht haben und in gewissem Maße auch die chemischen Reaktionen mit berücksichtigen, erfordern einen im Verhältnis zur Aussagekraft nicht gerechtfertigten Mehraufwand bei der Dateneingabe und den Rechenzeiten sowie der Datenauswertung bereits bei einer einzigen Stadt. Aber selbst diese Modelle sind bisher nicht in der Lage, die Immission der noch nicht limitierten Schadstoffe zu berechnen. Grundsätzliche Schwierigkeiten bei Modellrechnungen sind in Bild III. 5-53 zusammengefaßt.

Generell bleibt die Bewertung von Immissionskonzentrationen problematisch, da Massenbilanzen allein nicht aussagekräftig sind, solange die Transmission ungeklärt ist.

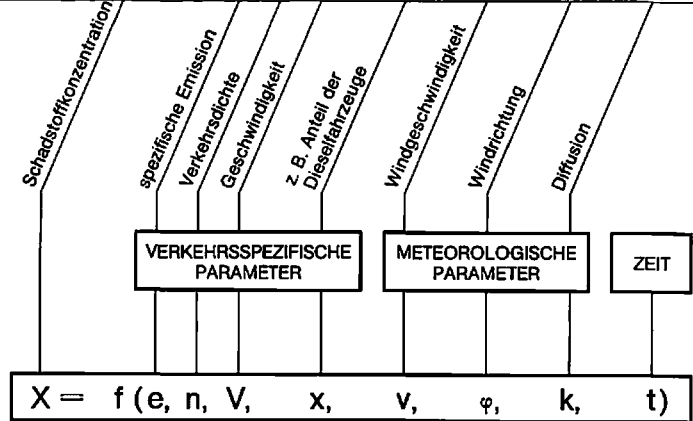


Bild III.5-54: Variable des instantanen Emissions-Immissions-Systems, [821].

Emissions- und Immissionsmessungen für die von der EPA als zu untersuchen spezifizierten Stoffe (zumindest für die als krebserregend gekennzeichneten Stoffe) erforderlich. Emissionsmessungen müssen hierbei bei allen Emittenten für die betreffenden Stoffe durchgeführt werden. Da zur Ermittlung der durch mobile Quellen (z. B. durch Fahrzeuge mit Diesel-Motor) verursachten Immissionssituation die in Bild III. 5-54 genannten Parameter eingegeben werden müssen, ist eine Erweiterung der existierenden Ausbreitungsmodelle erforderlich. Mit den bisher bekannten Modellen können keine Kurzzeit-Immissionswerte ermittelt und keine Einzelsituationen (z. B.

Bei manchen Komponenten, z. B. den Partikeln, ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Teilchengröße notwendig. Darüber hinaus ist es schwierig, die Aufenthaltsdauer ("Exposition") der Bevölkerung in der jeweiligen lokalen Immission zu bestimmen.

Um in Zukunft realistischere Ausbreitungsrechnungen durchführen zu können, sind



SIMULATION DES MASSE-TRANSPORT-VORGANGES IN DER ATMOSPHERE
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Transport-Vorgänge im gesamten Stadtgebiet</li> <li>● Bestimmung der Masse-Transport-Vorgänge</li> <li>● Ausbreitungs-Rechenverfahren für Partikeln</li> <li>● Ausbreitungs-Rechenverfahren für nicht limitierte Schadstoffe</li> </ul>
SIMULATION CHEMISCHER UND FOTOCHEMISCHER REAKTIONEN
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Umwandlung von NO → NO<sub>2</sub></li> <li>● Vorgänge beim fotochemischen Smog</li> <li>● Chemische Umwandlung von Partikeln</li> <li>● Chemische Reaktionen der nicht limitierten Schadstoffe</li> </ul>
VERVOLLSTÄNDIGUNG DER VORHANDENEN LUFTQUALITÄTS-RECHENMODELLE
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Berücksichtigung chemischer (Folge-)Reaktionen</li> <li>● Anwendung des Rechenmodells auf das gesamte Stadtgebiet</li> <li>● Festlegung repräsentativer Zonen im Stadtgebiet</li> </ul>

**Bild III.5-55:** Notwendige Untersuchungen und Entscheidungen bei der Entwicklung künftiger Luftqualitäts-Simulations-(Rechen-)Modelle, nach [821].

kurzfristige Emissionen, Wind) berücksichtigt werden. Zur Entwicklung eines solchen neuen Luftqualitäts-Simulationsmodells sind noch die in Bild III. 5-55 zusammengefaßten Untersuchungen und Entscheidungen erforderlich.

Ohne die Entwicklung eines derartigen Modells zur Simulation der Immissionsbelastung im straßennahen, d. h. fußgänger-nahen Bereich, das auch Kurzzeit-Immissionen simulieren kann (wobei Randbedingungen, Meteorologie und Background-Immissionen konstant gehalten werden und nur die spezifi-

schen Emissionen einzelner Fahrzeuge sowie deren Anteil am Verkehrsaufkommen geändert werden), glaubt Daimler-Benz nur schwer eine realistische Aussage im Sinne der zuvor genannten "Clean Air Act"-Forderungen im Rahmen von Hearings oder Zertifikationen machen zu können. Die derzeit verfügbaren und teilweise auch bei Daimler-Benz rechenbaren Modelle sind mit ihren charakteristischen Merkmalen und Ergebnismöglichkeiten in Bild III. 5-56 zusammengestellt. Sie erfüllen alle noch nicht die zuletzt genannten Forderungen.

Ausbreitung – Rechenmodell	Analysierter Immissionsort	Berechneter Zeitraum (Mittelwerte)	Berücksichtigte Schadstoffe	Eigenschaften und Grenzen des Rechenmodells	
HIWAY	straßennah	1 bis 8 h	NO <sub>x</sub> , B(a)P, HC, CO, Sulfate	Analysiert (städtischen) Freeway. Das Modell war dazu entwickelt, auf inerte Schadstoffe angewendet zu werden. Muß bei Anwendung auf NO <sub>2</sub> modifiziert werden. Überbewertet staßennahe Konzentrationen. Nur für Kurzzeit-Konzentrationen anwendbar.	Keines der genannten Modelle kann eine Partikel-Ausbreitung berechnen, wenn Sedimentation berücksichtigt wird. Keines der Modelle kann den wichtigen Fall: innerstädtisch – straßennah (d. h. Fußgänger-nah) berechnen.
PAL	Komplexes Straßensystem	1 bis 8 h	NO <sub>x</sub> , B(a)P, HC, CO, Sulfate	Analysiert Netz aus städtischen Straßen einschließlich einiger Punkt- und Linienquellen (PAL = Point Area Line-Quellen). War (wie auch HIWAY) nicht entwickelt, um auf reaktive Stoffe angewendet zu werden. Muß zur Anwendung auf NO <sub>2</sub> ebenfalls modifiziert werden. Rechenkosten verhindern Anwendung auf Perioden > 24 h oder für große Gebiete.	
ROLLBACK	Stadtbereich	1 h bis 1 Jahr	NO <sub>x</sub> , B(a)P, HC, O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, Oxidantien	Auch „Proportional-Modell“ genannt. Analysiert gesamte City und umgebendes Gebiet. Annahme des Modells: Die Konzentration eines Stoffes in der Umgebung ist eine lineare Funktion von den Emissionen des jeweiligen Stoffes in einem abgegrenzten geographischen Gebiet, d. h. eine Änderung der CO- und NO <sub>x</sub> -Emissionen führt zu einer proportionalen Änderung der CO- und NO <sub>x</sub> -Konzentrationen. Anwendbar für jeden Zeitabschnitt und jede Quellen-Mischung. Gibt jedoch keinerlei Hinweis auf örtliche Unterschiede, die durch Quellen oder Emissions-Kontroll-Strategien verursacht werden.	
TÜV-Rheinland	Stadtbereich	1 h bis 1 Jahr	NO <sub>x</sub> , HC, CO, SO <sub>2</sub>	Geht von einer Gauß-Verteilung für die Schadstoffausbreitung aus. Das ursprüngliche Modell war auf eine Punktquelle (z. B. Schornstein) bezogen, wurde dann jedoch auf eine Linienquelle transformiert. Nimmt an, daß die Immissionen in einer Straße bis auf Dachhöhe steigen und dann vom Wind weggetragen werden. Gilt daher erst ab Dachhöhe und nicht straßennah.	
APRAC	Stadtbereich	1 h	CO	Analysiert innerstädtischen Bereich, ausgehend von Stadtautobahnen, Hauptverkehrsstraßen und Zubringerstraßen. Kann Emissionsausbreitung in einer Straßenschlucht, jedoch nicht straßennah, berechnen. Nur auf CO begrenzte Rechenmöglichkeit.	
CCMC	Stadtbereich (speziell: Turin)	1 h	CO, NO, NO <sub>2</sub> , HC, O <sub>3</sub>	Bisher einziges Modell, das chemische (Folge-)Reaktionen in der Atmosphäre berücksichtigt (nach reaktionskinetischen Gleichungen). Grid-Modell, d. h. Aufteilung des betrachteten Raumes in Zellen (3-dimensional) unter der Annahme, daß die Bedingungen in jeder Einzelzelle über den Raum konstant sind und kein Gradient von Zelle zu Zelle existiert.	

**Bild III.5-56:** Charakterisierung einiger der bekanntesten Modelle zur Berechnung der Luftqualitäts-Situation in bestimmten geographischen Zonen, nach [821].

#### 5.3.4.9 Analytische Probleme

Eine sinnvolle Arbeit mit Schadstoffen, und besonders mit den noch nicht limitierten krebserdächtigen Substanzen, kann nur dann erfolgen, wenn Probenahme- und Analysemethoden zur Erfassung dieser Stoffe vorhanden und aus Gründen der Vergleichbarkeit möglichst standardisiert sind. Eine enge Zusammenarbeit von Gesetzgeber und Automo-

bilindustrie ist auf diesem Gebiet besonders angeraten, damit man in allseitigem Interesse möglichst schnell und effektiv die als am gefährlichsten angesehenen Substanzen richtig erfassen, sie in biologischen Versuchen testen und durch Maßnahmen am Motor oder Emissionskontrollsystem verringern oder eliminieren kann.

Das Gebiet der Analytik erweist sich also als mindestens ebenso wichtig wie biologische Tests. Die Probe eines Schadstoffes zur Verwendung in biologischen Tests muß frei von Kunstprodukten sein, die im Original-Abgas nicht vorhanden waren (z. B. Stickstoffverbindungen im Kondensat des Dieselabgases bei der Partikel-Probenahme nach Grimmer). "Background"-Emissionen, die eventuell beim Extrahieren von Ruß vom Filtermaterial selbst freigesetzt werden, müssen berücksichtigt und eine Doppelbewertung von Schadstoffen wie sie heute bei der EPA-Partikel-Meßvorschrift noch der Fall ist muß vermieden werden: Bisher erfolgt durch die Messung der kohlenwasserstoffhaltigen Partikel-Emission bei der vorgeschriebenen Temperatur von  $< 52^{\circ}\text{C}$  am Filter und durch die zusätzliche Messung der gasförmigen Kohlenwasserstoffe bei  $190^{\circ}\text{C}$ , wie es die HC-Meßvorschrift für Dieselabgas vorsieht, eine Doppelerfassung von Kohlenwasserstoffen, die bis  $52^{\circ}\text{C}$  noch an den auf dem Filter gesammelten Ruß angelagert sind und dort bei der Partikel-Massenbestimmung mitgewogen werden).

Um die möglichen Gefahren durch die noch nicht limitierten Abgasschadstoffe möglichst bald in den Griff zu bekommen, könnte eines der wichtigsten Ziele in Zukunft die Erfassung von Hauptklassen von Komponenten im Abgas sein, die höchste biologische Aktivität entfalten. Diese Hauptklassen sind dann zur Bestimmung von Einzelbestandteilen und möglichst auch zur Feststellung der für die biologische Aktivität kritischen Substanz durch chemische Verfahren näher zu untersuchen {810}. Abermals wird deutlich, daß ohne enges Zusammenarbeiten von Analytik und biologischen Tests eine Lösung der gestellten Aufgabe nicht möglich ist.

#### 5.3.4.10 Daimler-Benz Beteiligung an Forschungsprogrammen sowie eigene Forschung

Einerseits um den im "Clean Air Act" und in den Zertifizierungsvorschriften künftiger Modelljahre aufgestellten behördlichen Forderungen entsprechen zu können, andererseits aber auch um selbst so bald als möglich ein realistisches Bild über das derzeit noch unklare Risiko von Automobilabgasen auf die menschliche Gesundheit zu erhalten, betreibt Daimler-Benz intensive Forschungsarbeit auf diesem Gebiet im Hause und ist an zahlreichen weiteren relevanten Forschungsprogrammen beteiligt. In Bild III.5-57 sind die entsprechenden Forschungsanstrengungen im Hause selbst sowie die Beteiligung an Programmen nationalen und internationalen Charakters mit einer kurzen Charakterisierung dieser Programme zusammengestellt.

Bemühungen im Hause Daimler-Benz	Beteiligung an nationalen und internationalen Programmen
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Studium der Chemie des Verbrennungsvorganges</li> <li>- Studium und Auswertung von Literatur über Versuche zur Wirkung von Luftverunreinigungen und speziell Automobilabgasen auf die menschliche Gesundheit</li> <li>- Erarbeitung einer Prioritätsliste zwecks möglichst effektiver Bearbeitung der „unregulated pollutants“</li> <li>- Erarbeitung neuer und standardisierter Probenahme- und Analysemethoden für verschiedene „unregulated pollutants“</li> <li>- Erarbeitung von Alternativverfahren zu verbesserungswürdigen Meßtechniken</li> <li>- Entwicklung von Verfahren, die repräsentative Proben für biologische Tests liefern (Proben frei von Kunstprodukten!)</li> <li>- Entwicklung von Methoden, die Analytik und biologische Tests sinnvoll verknüpfen</li> <li>- Untersuchung von Möglichkeiten der Übertragbarkeit von Ergebnissen biologischer Tests auf den Menschen</li> </ul>	<p><b>Methoden-Entwicklung für Kurzzeit-Tests</b></p> <p>- FVV<sup>1)</sup>: „Bindungsfestigkeit von Kohlenwasserstoffen an Ruß“ Untersuchung der Bio-Verfügbarkeit von Substanzen, die an Diesel-Rußpartikeln angelagert sind. In-vivo und in-vitro Tests werden durchgeführt.</p> <p>- FVV: „Emission, Immission, Wirkung von Automobilabgasen“ Programmstudie mit Erfassung und Bewertung von Literatur. Vergleichende Betrachtung von in-vitro-, Langzeit-Nicht-Inhalations- und Langzeit-Inhalationstests. Erfassen der Randbedingungen für ein Luftqualitäts-Rechenmodell im innerstädtischen straßennahen Bereich. Zusammenfassung und Bewertung von Meßverfahren für „unregulated pollutants“.</p> <p>- CCMC<sup>2)</sup>: „Kurzzeit-Wirkungstests“ Feststellen, ob eine Gesundheitsgefahr in den an Partikeln angelagerten Substanzen liegt. Zusammenhang zwischen Effekt im Kurzzeittest und Wirkung im menschlichen Organismus erkennen.</p> <p>Langzeit-Studien</p> <p>- CCMC: „Langzeit-Wirkungstests“ Im wesentlichen Inhalationsversuche mit Tieren, die drei verschiedenen Niveaus von Schadstoffkonzentrationen ausgesetzt werden.</p> <p>- Daimler-Benz/BMI<sup>3)</sup>: „Gesundheitsuntersuchungen mit Abgas von Diesel-Motoren“ Inhalations-Versuche mit Diesel-Abgas an Hamstern in einem 3-Stufen-Programm: 6 Wochen-, 18 Wochen-, Langzeit*-Testreihen mit Abgasen in verschiedenen Verdünnungsraten. Vergleich Gesamt-Abgas und partikelfreies Abgas.</p> <p>- FAT/AK1<sup>4)</sup>: „Gesundheitsuntersuchung mit Abgas von Otto-Motoren“ Inhalationsversuche an Hamstern und Ratten. Kurzzeit- und Lebenszeit-Testreihen zur Untersuchung toxischer und kanzerogener Erscheinungen (Versuche mit Vorschädigung der Versuchstiere, wie auch o. g. BMI-Programm).</p> <p>Beide Programme sollen erarbeiten: - Vergleich möglicher Krebsgefahr durch Abgase von Otto- und Diesel-Motoren - Dosis/Wirkung Zusammenhang für gesundheits-schädliche Effekte dieser Abgasemissionen - Mit den Ergebnissen der Dosis/Wirkungsuntersuchungen Sicherheitsfaktor für atmosphärische Abgas-Schadstoffkonzentrationen ermitteln - Anwendung von Kurzzeit-Tests zur Ermittlung eventueller Krebsgefahr bei verschiedenen Motorkonstruktionen - Korrelation der Ergebnisse von Langzeit-in-vivo- mit denen von Kurzzeit-in-vitro-Tests</p>
	<p><sup>1)</sup> Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen  <sup>2)</sup> Committee of Common Market Automobile Constructors  <sup>3)</sup> Bundesministerium des Innern  <sup>4)</sup> Forschungsvereinigung Automobiltechnik/Arbeitskreis 1</p>

**Bild III.5-57:** Aktivitäten von Daimler-Benz im Hause sowie auf nationaler und internationaler Ebene im Zusammenhang mit der Erforschung einer vermuteten Gesundheits-Beeinflussung durch Automobilabgase, nach [822].

### 5.3.5 Problembereiche und Kritik im Zusammenhang mit dem Dauerlauf-Verfahren und dem Verschlechterungsfaktor ("deterioration factor")

Das Zertifikationsverfahren der US-EPA zielt darauf ab, anhand von Einzelprüfungen an Prototypen sicherzustellen, daß das von einem Automobilhersteller zum Verkauf vorge-sehene Fahrzeugprogramm die endgültigen Emissionsgrenzwerte während der gesamten Fahr-zeuglebenszeit einhält, wenn die Fahrzeuge nach Herstellervorschrift betrieben und ge-wartet werden.

Die getesteten Prototypen haben hierbei aus praktischen Gründen nur eine geringe Lauf-strecke (4000 Meilen). Da die an ihnen ermittelten Testergebnisse jedoch eine Aussage über das während der gesamten Lebenszeit zu erwartende Emissionsverhalten des betref-fenden Fahrzeug/Emissionskontrollsystems ermöglichen sollen, wird eine Größe über die zeitliche Abhängigkeit des Emissionsverhaltens benötigt. Die Problematik der Bestim-mung dieser Größe wird nachfolgend näher betrachtet, da die mit ihrer Ermittlung ver-bunden Kosten enorm hoch, das gefunde Ergebnis jedoch - da nicht realistisch - fast wertlos sein kann.

#### 5.3.5.1 Der Sinn des Zertifikations-Dauerlaufs

Der während des Zertifizierungsverfahrens geforderte Dauerlauf (die Diskussion sei hierbei auf den bis Modelljahr 1978 ausschließlich gültigen 50.000 Meilen-Lauf be-schränkt) soll zunächst der Beweisführung, daß der Verbund aus Fahrzeug, Motor und Emissionskontrollsystem in der Lage ist, die gesetzlichen Grenzwerte während der mit 100.000 Meilen angenommenen Lebensdauer ("actual life") des Fahrzeuges im Mittel zu unterschreiten, dienen. Dieser Beweis gilt als erbracht, wenn die aus den Emissions-

testergebnissen des 50.000 Meilen-Dauerlaufes nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate berechnete Ausgleichsgerade für die jeweilige Schadstoffkomponente CO, HC und NO<sub>x</sub> bei 4.000 und 50.000 Meilen unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes liegen, wobei Einzelmeßwerte während des 50.000 Meilen-Laufes die gesetzlichen Standards überschreiten dürfen. Liegen alle Meßwerte zwischen 4.000 und 50.000 Meilen unter dem Grenzwert, darf die Ausgleichsgerade den Grenzwert auch schon vor dem 50.000 Meilen-Punkt schneiden ("line crossing"). Zum anderen dient der (das sogenannte "useful life" widerspiegelnde) 50.000 Meilen-Lauf der Ermittlung eines Verschlechterungsfaktors ("deterioration factor"), der durch die Steigung der obengenannten Regressionsgeraden wiedergegeben wird. Dieser Faktor ist für den in Kap. 5.2.1.12 und Kap. 5.3.5.5 beschriebenen Zulassungstest von entscheidender Bedeutung, da er multiplikativ in das 4.000-Meilen-Testergebnis des gerade eingelaufenen Emissionstest-Fahrzeuges zur Hochrechnung auf dessen lebenslanges Emissionsverhalten eingeht.

Vor Beginn des Dauerlaufes kann sich der Hersteller mittels eines sogenannten "Null-Meilen-Tests" vergewissern, daß alle Systeme ordnungsgemäß arbeiten. Der Test ist an die Behörde zu melden, wird jedoch nicht in die Berechnung des Verschlechterungsfaktors einbezogen. Nach behördlicher Zustimmung zum Dauerlaufbeginn akkumuliert das Fahrzeug dann auf Straße oder Rollenprüfstand die obengenannte Fahrstrecke nach dem in Kap. 5.2.3.1 beschriebenen Fahrprogramm und wird in 5.000 Meilen-Intervallen Emis-

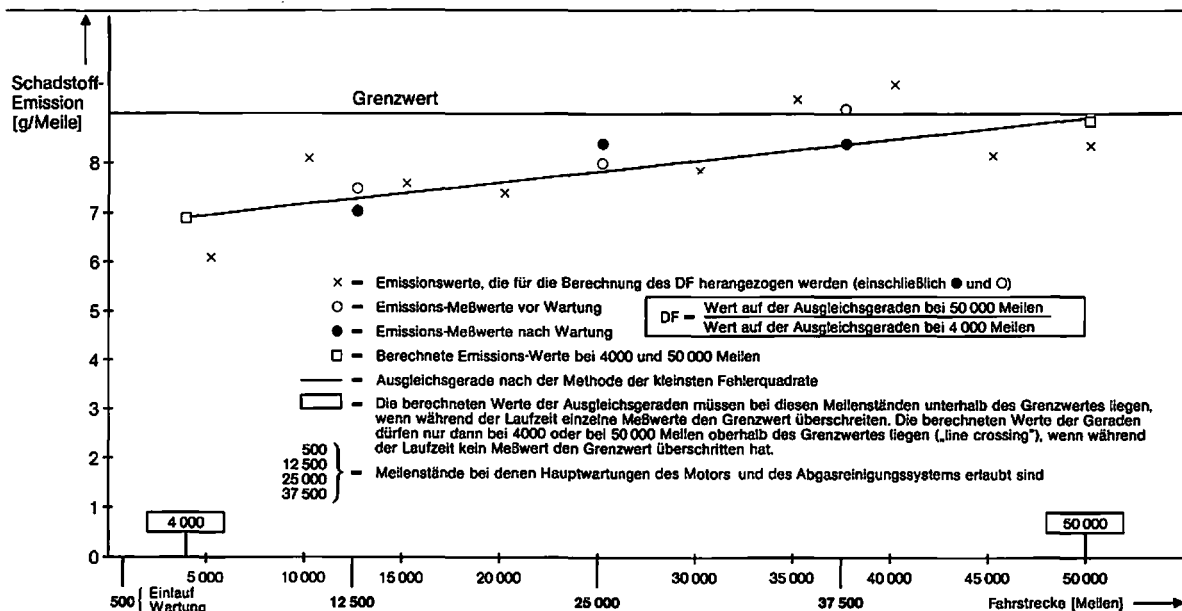


Bild III.5-58: Ermittlung des Verschlechterungsfaktors (DF = „deterioration factor“) aus dem 50 000 Meilen-Abnahmelauftest

sionstests unterzogen. In den Hauptwartungspunkten, z.B. bei 12.500, 25.000 und 37.500 Meilen, werden 2 Emissionstests (je einer vor und nach Wartung) gefahren, beide Testergebnisse gehen in die lineare Regressionsrechnung ein. Das beschriebene Verfahren ist in Bild III.5-58 dargestellt.

### 5.3.5.2 Grenzen des Dauerlaufs

Ähnlich dem in Teil II, Kap. 8.3 bei der Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen beschriebenen Problem der Korrelation von Kurztests zum gesamten Zulassungstest, besteht bei dem obengenannten Abnahmelauftest die nahezu unerfüllbare Forderung,

in einem weniger als 6 Monate dauernden Kurzlauf unter optimalen Bedingungen die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeuges von 50.000 Meilen oder 5 Jahren mit allen dazugehörigen im realen Feldeinsatz auftretenden Unwägbarkeiten vergleichbar zu simulieren.

Da es der Abnahmeläufe aus dem Zertifikationsverfahren - wie nachfolgend im Detail gezeigt wird - nicht ermöglicht, sichere Emissionsvorhersagen über die Lebensdauer eines Fahrzeuges zu machen, müssen alle Berechnungen über Verbesserungsmöglichkeiten der Luftqualität, die auf Abnahmeläufsergebnissen, (d. h. auf die mit dem Verschlechterungsfaktor aus diesem Abnahmelauf multiplizierten Emissionswerte von 4.000 Meilen-Fahrzeugen) beruhen, als fragwürdig bezeichnet werden.

#### 5.3.5.3 Meilenakkumulation und Fahrverlauf

Der gesetzlich vorgeschriebene Fahrzyklus zur Meilenakkumulation kann nur einen symbolischen Fahrverlauf wiedergeben, dessen Bezug zur täglichen Fahrpraxis kaum gegeben ist. Diese tägliche Fahrpraxis wäre - wenn überhaupt - nur durch Kombination aus den als repräsentativ für einen praktischen Fahrbetrieb relativ gut abgesicherten City- und Highway Fahrzyklen in entsprechender Wichtung simulierbar.

In keinem Fall jedoch ist das Ergebnis eines relativ kurzfristigen kontinuierlich laufenden Fahrprogrammes vergleichbar mit dem Verhalten der Fahrzeug/Motor/Abgasreinigungssystem-Kombination über 5 Jahre praktischen Betriebes in Kundenhand, die zusätzlich mehr oder weniger lange Standzeiten des Fahrzeuges mit der Gefahr von beschleunigter Korrosion (z. B. im Auspuff oder Abgasrückführungssystem) enthalten. Insbesondere die Belastungsverhältnisse für das Fahrzeug und seine Aggregate sind sowohl bei der Durchführung eines Abnahmeläufes auf einer Teststrecke wie auch auf Rollenprüfständen im Vergleich zur realen Fahrpraxis minimal. Einflüsse, wie z. B.:

- schlechte Fahrbahn
- Sommer/Winter Extreme
- Beladung/Anhängerbetrieb
- Wechselnde Besitzer/wechselnder Fahrstil

entfallen im Zertifikationsbetrieb völlig und können dort auch nicht repräsentativ simuliert werden.

Auch die in Kap. 5.2.3.2 detailliert beschriebenen Auflagen hinsichtlich gewisser beim Abnahmelauf auf Rolle und Straße einzuhaltender Temperaturen (die als wichtig für das Langzeitverhalten des Abgasreinigungssystems angesehen werden) spiegeln lediglich eine fiktive Konstanz der Randbedingungen (die zur Vergleichbarkeit von Abnahmeläufen verschiedener Hersteller zwar vorhanden sein sollte) wider: Die Temperaturmessungen beim Fahren des gesetzlichen Fahrzyklus auf der Straße haben nur für den Augenblick der Messung Gültigkeit. Kleinste Änderungen der Umgebungsverhältnisse (Straßenerwärmung durch Sonnenschein, aufkommender Wind etc.) haben sofort andere

Meßergebnisse zur Folge. Auf dem Rollenprüfstand müssen also rein zufällig erfaßte Bedingungen mit viel Aufwand (z. B. spezielle Luftversorgung des Fahrzeugunterbodens, Luftabdeckung etc.), reproduziert werden und gelten dann für die gesamte 50.000 Meilen-Fahrzeit, die wiederum 5 Jahren praktischer Lebenszeit entsprechen soll.

#### 5.3.5.4 Fahrzeug-Wartung

Die im Herstellerwerk während eines Zertifikationsabnahmelaufes an den Zulassungsfahrzeugen durchgeführte Wartung ist sicher optimal. Sie kann während der Lebenszeit eines Fahrzeuges im praktischen Kundenbetrieb nur dann erreicht werden, wenn das Fahrzeug ausschließlich in Werkstätten gewartet wird, die den gleichen Qualitätsansprüchen genügen. Über die Qualität der Wartung an den nicht in Vertragswerkstätten geprüften Fahrzeugen kann keine Aussage gemacht werden.

Eine Verbesserung dieser Situation, z. B. durch Zwang zur Durchführung von Wartungsarbeiten ausschließlich in Vertragswerkstätten der einzelnen Hersteller stößt in verschiedenen Ländern, so auch in den USA, auf gesetzliche Schwierigkeiten, da die Gleichheit der Wettbewerbsvoraussetzungen (z. B. für unabhängige Werkstätten) nicht mehr gegeben wäre.

Andererseits könnte der Zertifikationsdauerlauf nur dann als repräsentativ für das Emissionsverhalten von Fahrzeugen im Feldeinsatz angesehen werden, wenn die in Kundenhand befindlichen Wagen gleicher sorgfältiger Wartung unterzogen würden. Auch aus dieser Sicht ist also der "deterioration factor" aus dem 50.000 Meilen-Lauf eine höchstens zufällig den Realitäten entsprechende Größe.

#### 5.3.5.5 Statistische Grundlage ("Operation Characteristic"- OC) des EPA-Zertifikationstest-Verfahrens

Anhand von statistischen Betrachtungen zeigt sich, daß die von der US-EPA angewendete Zertifizierungs-Testmethode an sich für die Automobilhersteller prinzipiell nicht das ungünstigste Verfahren ist {823}. Eine solche Betrachtung kann leicht mittels der sogenannten Operations-Charakteristik erfolgen. Operations-Charakteristiken werden in der Statistik verwendet, um verschiedene Verfahren bezüglich der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines bestimmten Ereignisses zu vergleichen {824}. Auf Zulassungstests angewendet erlaubt die Operations-Charakteristik z. B. eine vergleichende Aussage zu der Frage, welches Typprüfverfahren bei vorgegebener Standardabweichung der Meßwerte des Prüfobjektes (Fahrzeugs), vorgegebener Testzahl und angenommenem Sicherheitsabstand vom Grenzwert größere oder kleinere Bestehens- oder Nichtbestehens Chancen für den Automobilhersteller bringt.

In Bild III. 5-59 sind Operations-Charakteristiken des derzeit gültigen EPA-Verfahrens für verschiedene Standardabweichungen des Emissionstest-Fahrzeuges verglichen. Um die Herleitung der Operationscharakteristik (OC-Kurve) prinzipiell zu veranschaulichen, ist in Bild III. 5-60 am Beispiel des einfachen EPA-Verfahrens die entsprechende Wahrscheinlichkeitsberechnung durchgeführt.

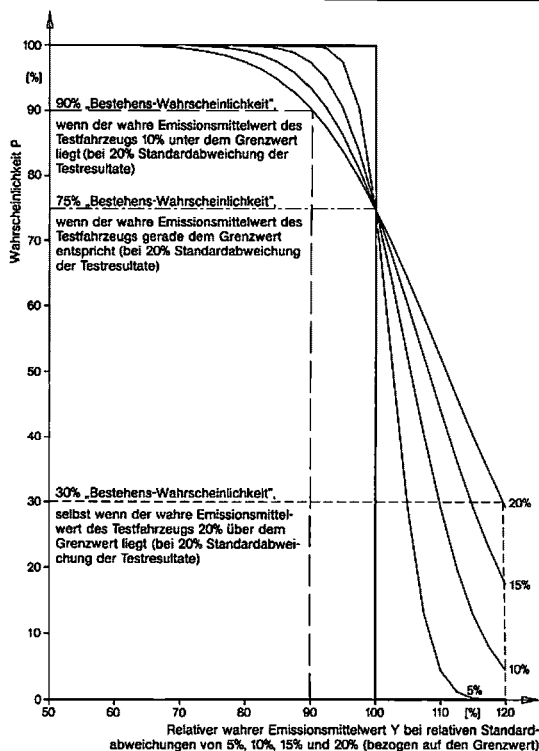
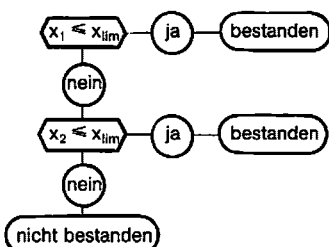


Bild III.5-59: Die Operationscharakteristiken des derzeit gültigen EPA-Zertifizierungstest-Verfahrens

Wie aus diesem Bild hervorgeht, bietet das heutige USA-Verfahren eine 75 %ige Bestehenswahrscheinlichkeit, wenn der wahre Emissionsmittelwert des Fahrzeuges gerade dem Grenzwert entspricht. Die "Annahmewahrscheinlichkeit" ist in diesem Fall unabhängig von der Standardabweichung der Emissionstestwerte des Prüffahrzeuges. Die Standardabweichung wirkt sich erst dann aus, wenn das Fahrzeug mit Sicherheitsabstand zum Grenzwert oder bei Grenzwertüberschreitung betrachtet wird. So beträgt die Annahme-, d. h. die Bestehenswahrscheinlichkeit bei 20 % Standardabweichung und 10 % Sicherheitsabstand des wahren Mittelwertes 90 %, und wenn der wahre Emissionsmittelwert des Fahrzeuges um 20 % über dem gesetzlichen Grenzwert liegt, immerhin noch 30 %.

Obwohl das Verfahren statistisch gesehen damit recht akzeptabel erscheint, darf doch nicht übersehen werden, daß mit dem Verfahren gewisse -

#### 1. Blockdiagramm des Verfahrens



#### 2. Darstellung durch Mengen

$$\{\text{bestanden}\} = \{x_1 \leq x_{\text{lim}}\} \cup [\{x_1 > x_{\text{lim}}\} \cap \{x_2 \leq x_{\text{lim}}\}]$$

#### 3. Zuordnung der Wahrscheinlichkeiten

gemäß Additionsregel :  $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

wobei  $P(A \cap B) = 0$ , da disjunkte Mengen

wird:  $P(\text{bestanden}) = P(x_1 \leq x_{\text{lim}}) + P(x_1 > x_{\text{lim}} \cap x_2 \leq x_{\text{lim}})$

mit der Bedingung :  $x_1, x_2$  sind unabhängig, kann die Gleichung nach der Multiplikationsregel für unabhängige Ereignisse weitergeführt werden

gemäß Multiplikationsregel :  $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$

wird:  $P(\text{bestanden}) = P(x_1 \leq x_{\text{lim}}) + P(x_1 > x_{\text{lim}}) \cdot P(x_2 \leq x_{\text{lim}})$

oder  $P(\text{bestanden}) = P(x_1 \leq x_{\text{lim}}) + [1 - P(x_1 \leq x_{\text{lim}})] \cdot P(x_2 \leq x_{\text{lim}})$   
(Komplementär-Wahrscheinlichkeit)

und damit:  $P(\text{bestanden}) = P(x_1 \leq x_{\text{lim}}) + P(x_2 \leq x_{\text{lim}}) - P(x_1 \leq x_{\text{lim}}) \cdot P(x_2 \leq x_{\text{lim}})$

#### 4. Übergang von Wahrscheinlichkeitstheorie auf Verteilungsfunktion

Ist  $x$  eine  $N(\mu, \sigma^2)$ -verteilte Zufallsgröße, so ist die standardisierte Zufallsgröße

$$U = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

$N(0,1)$  normalverteilt, also wieder normalverteilt mit den Parametern  $\mu_U = 0, \sigma_U = 1$ .

Die Verteilungsfunktion der standardisierten Zufallsgröße  $U$  ist bekannt als Gauß'sches Fehlerintegral

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right) du \text{ (tabelliert)}$$

Falls nun  $x_i \in N(\mu, \sigma^2)$  (d. h. unter der Annahme, daß die Meßwerte  $x_i$  des Prüffahrzeugs ( $i = 1, 2$ ) normalverteilt mit dem Mittelwert  $\mu$  und der Standardabweichung  $\sigma$  sind) gilt für die Verteilungsfunktion

$$F(x) = P(X \leq x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

Damit wird aus der letztgenannten Wahrscheinlichkeitsbeziehung die Form

$$P(\text{bestanden}) = \Phi\left(\frac{x_{\text{lim}} - \mu}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{x_{\text{lim}} - \mu}{\sigma}\right) - \Phi^2\left(\frac{x_{\text{lim}} - \mu}{\sigma}\right) \\ = \Phi\left(\frac{x_{\text{lim}} - \mu}{\sigma}\right) [2 - \Phi\left(\frac{x_{\text{lim}} - \mu}{\sigma}\right)]$$

#### 5. Aufbereitung zur Rechnung

Durch die Relativierung dieser absoluten Darstellungsweise, d. h. durch Bezug der Größen auf den Grenzwert, wird Wertgrößen-unabhängige Darstellung möglich.

Mit der Substitution:  $\frac{\mu}{x_{\text{lim}}} = a$  und  $\frac{\sigma}{x_{\text{lim}}} = b$  erhält die Gleichung

$$\text{die Form: } P(\text{bestanden}) = \Phi\left(\frac{1-a}{b}\right) [2 - \Phi\left(\frac{1-a}{b}\right)]$$

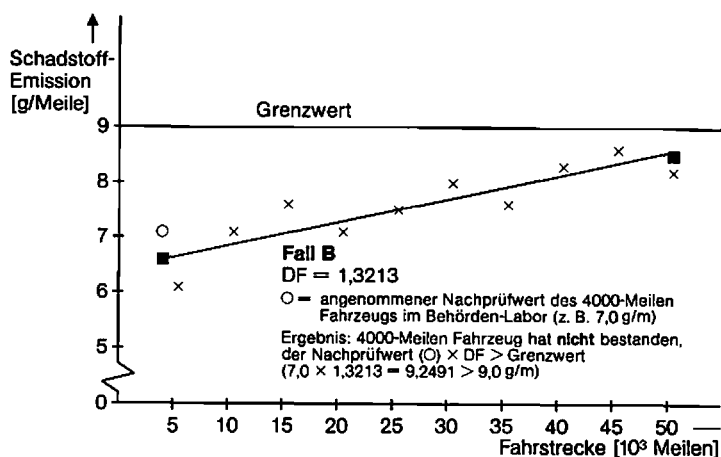
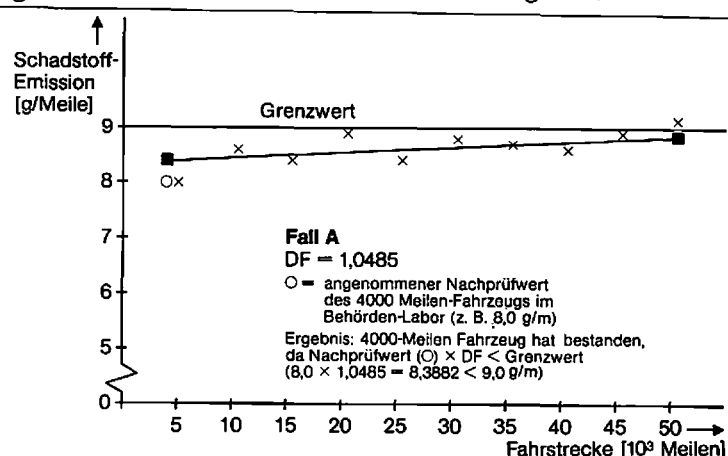
Durch Vorgabe eines festen  $b$ , d. h. in diesem Fall einer festen Standardabweichung des Prüffahrzeugs (z. B.  $0,2 = 20\%$ ) und Variation von  $a$ , d. h. der Testresultate (z. B. von 50 bis 120% des Grenzwertes  $= 0,5$  bis 1,2) ergibt sich der Verlauf der Operationscharakteristik (OC-Kurve). Durch Vorgabe weiterer  $b$ -Werte ergibt sich eine OC-Kurvenschar mit der Eigenschaft, daß die Bestehenswahrscheinlichkeit, wenn der wahre Emissionsmittelwert des Prüffahrzeugs gerade gleich dem gesetzlichen Grenzwert ist, unabhängig von der Standardabweichung ist und konstant 75% beträgt.

Bild III.5-60: Herleitung der Operationscharakteristik am Beispiel des US-EPA Zertifizierungstests mit  $n \leq 2$  möglichen Messungen und verschiedenen Standardabweichungen, nach [824].

ungesicherte - Annahmen, besonders bei den Schlußfolgerungen für die Serienproduktion, verknüpft werden. So wird z.B. angenommen, daß auch die Serienproduktion die gesetzlichen Grenzwerte erfüllt, wenn der Prototyp den Standard unterschritten hat. Diese Annahme ist jedoch nur dann zutreffend, wenn - wie in {823} theoretisch festgestellt wird - das Testergebnis des Prototyps dem Mittelwert der Testergebnisse aus der Serienproduktion entspricht. Obwohl auch Daimler-Benz diese Folgerung in einigen praktischen Fällen bestätigt fand, dürfte sie nicht in jedem Fall zutreffen, da Zertififikationsfahrzeuge bei 4.000 Meilen, Serienwagen dagegen im Neuzustand getestet werden.

#### 5.3.5.6 Statistische Auswertung des Dauerlaufs

Der aus den Emissionswerten errechnete Verschlechterungsfaktor ist von entscheidender Bedeutung für das Bestehen der Abgas-Typprüfung, da er multiplikativ in das Testergebnis des Emissionstest-Fahrzeuges (4.000-Meilen-Wagen) eingeht. Gemäß den in Kap.



**Bild III.5-61:** Möglichkeit der Zertifizierung (und damit der Serienfertigung) eines „schlechteren“ Abgasreinigungssystems (A) durch Berücksichtigung von Abnahme- laufergebnissen.

5.3.5.1 gemachten Ausführungen müssen die gerechneten Verschlechterungsgeraden aller Emissionskontrollsysteme den vorgegebenen Emissionsgrenzwert im 50.000 Meilen-Punkt einhalten (oder unterschreiten). Damit werden diese Systeme - auch bei sehr unterschiedlichen Steigungen der Regressionsgeraden - als gleichwertig angesehen, denn der von 0 bis 50.000 Meilen (d.h. im "useful life") unter dem Grenzwert liegende Teil der Ausgleichsgeraden wird durch den von 50.000 bis 100.000 Meilen über dem gesetzlichen Limit liegenden Teil kompensiert. Alle Systeme halten dann unter der oben gemachten Voraussetzung über ihr "actual life" (100.000 Meilen) den Grenzwert im Mittel ein.

Wie an dem in Bild III.5-61 dargestellten Beispiel gezeigt ist, kann trotzdem, allein durch Einflüsse des Test- und Auswerteverfahrens, ein System mit einem

sehr niedrigen Emissionsniveau aber höherem Verschlechterungsfaktor gegenüber einem solchen mit hohem Emissionsniveau aber geringerem Faktor "bestraft" werden. Die zwei in diesem Bild dargestellten - anhand der im Bild eingetragenen Meßwerte durchgerechneten - Fälle führen zu folgenden Konsequenzen: Im Fall A unterschreitet das Abgasreinigungskonzept bei Abnahme- laufbeginn den zulässigen Grenzwert ohne großen Sicherheitsabstand, bleibt während des gesamten Laufes auf sehr hohem Emissionsniveau und überschreitet bei 50.000 Meilen sogar im effektiven Meßwert den gültigen

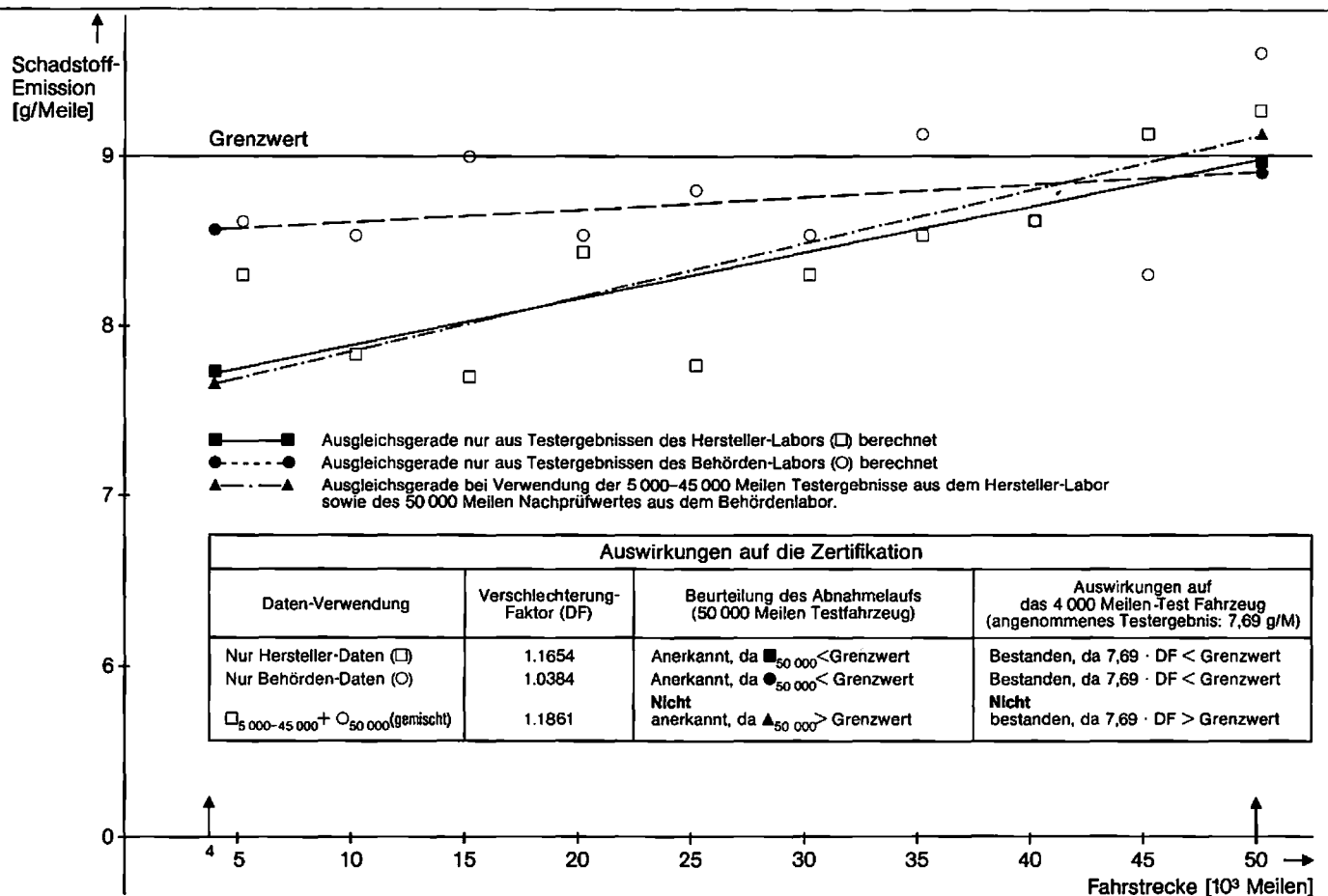


gesetzlichen Standard (was zulässig ist, solange der gerechnete Wert der Regressionsgeraden bei diesem Meilenstand unter dem Standard bleibt).

Im Fall B beginnt das Fahrzeug mit sehr niedrigem Emissionsniveau und liegt selbst bei 50.000 Meilen mit dem Meßwert noch deutlich unter dem Standard. Bei den Zulassungstests im Behördenlabor an 4000 Meilen-Fahrzeugen kann für das aus Sicht der Gesamtemission während der Fahrzeuglebensdauer (und damit aus Sicht der Luftqualität) "schlechtere" System A eine höhere Bestehenschance als für das entsprechend "bessere" System B vorliegen. (System A ist schlechter als B, weil bei Extrapolation auf 100.000 Meilen bei diesem System, das den Grenzwert bei 50.000 Meilen nahezu schneidet, etwa gleich viel "Anteil" von 0 bis 50.000 Meilen unter, wie von 50.000 bis 100.000 Meilen über dem Grenzwert liegt, wodurch der Mittelwert von 0 bis 100.000 Meilen  $\approx$  dem Grenzwert entspricht, während im Fall B nach der gleichen Betrachtung der Mittelwert von 0 bis 100.000 Meilen deutlich kleiner als der Grenzwert und damit die Umweltbelastung des Systems geringer als die von Fall A ist). Ein 4000 Meilen-Fahrzeug vom System A wird etwa gleichen Abstand vom Grenzwert haben wie das Abnahmelautfahrzeug dieses Systems bei gleichem Meilenstand. Dieser Wert mit dem geringeren Verschlechterungsfaktor multipliziert, liegt dann immer noch unter dem Grenzwert, d.h., das Fahrzeug (System) hat bestanden.

Falls das 4000 Meilen-Fahrzeug vom System B beim Test im Behördenlabor durch irgendeinen Grund (Meßstreuung, systematischer oder statistischer Fehler) höher als im Herstellerlabor gemessen wird (ohne den Grenzwert jedoch zu erreichen) wird es durch Anwendung des hohen Verschlechterungsfaktors aus dem Abnahmelaut als "durchgefallen" betrachtet. Damit wird meist die Vorstellung eines modifizierten, eventuell ganz neuen Abgasreinigungskonzeptes erforderlich. Dieser Fall tritt in dem im obengenannten Bild gezeigten Beispiel schon dann ein, wenn der Nachprüfstest im Behördenlabor mit 7,0 g/m nur geringfügig über den entsprechenden Testwert im Herstellerlabor von 6,0 g/m lag. Wie dieses Beispiel zeigt, kann damit durch den Abnahmelaut ein besseres Konzept blockiert und ein schlechteres Konzept für den Serieneinsatz erzwungen werden. An dieser Stelle sei auch auf die später in Kap.6.2.3 gemachten Ausführungen hingewiesen, die die Bedeutung des Verschlechterungsfaktors auch in Messungen im Rahmen der gesetzlichen Serienkontrollvorschriften behandeln.

Im Zusammenhang mit dem Problem von statistischen und systematischen Fehlern sei noch eine weitere Gefahr beschrieben, die durch eine Vermischung von Meßdaten verschiedener Labors beim Abnahmelaut auftritt: Die US-EPA akzeptiert für Importeure Emissionstestergebnisse aus dem Labor des jeweiligen Automobilherstellers zur Berechnung des Verschlechterungsfaktors. Im Gegensatz zu einheimischen Herstellern mußten Importeure ein 50.000 Meilen-Abnahmelautfahrzeug zum Nachtest im Behördenlabor nur dann vorstellen, wenn der geplante Verkauf dieses Modells 10.000 Stück/Modelljahr überschritt. In einem solchen Fall erfolgte der 50.000 Meilen-Abschlußtest außer beim Hersteller auch im Behördenlabor.



**Bild III.5-62:** Mögliche Auswirkungen auf die Zertifizierung bei

- Fahren des Abnahmelaufs entweder beim Hersteller oder bei der Behörde mit getrennter Berechnung des Deterioration Factor (DF) aus den Abgastestergebnissen des jeweiligen Labors
- Fahren des Abnahmelaufs beim Hersteller, aber Vermischen der Abgastestergebnisse beider Labors durch Berechnung des DF sowohl aus Daten des Herstellers – wie auch des Behördenlabors.

Zur Berechnung des Verschlechterungsfaktors wurden hierbei jedoch nicht ausschließlich die Hersteller-Werte verwendet, sondern im 50.000 Meilenpunkt galt der im Behördenlabor gefundene Meßwert. Bei absoluter Identität beider Labors (d. h. keine systematischen Fehler vorhanden) und ausreichend großer Testzahl in diesem 50.000 Meilenpunkt sowohl beim Hersteller wie auch bei der Behörde (keine statistischen Fehler vorhanden) wäre diese Vorgehensweise akzeptabel.

Da aber weder systematische Fehler auszuschließen sind und nur *ein* Test im Behördenlabor erfolgt, besteht die große Gefahr, daß die bis zu diesem Zeitpunkt ausschließlich auf Meßdaten des Herstellerlabors basierende Verschlechterung durch Einbeziehung eines Meßwertes aus einem anderen Labor verfälscht wird. Diese Verfälschung kann erheblich sein, da sich der Meßwert im 50.000 Meilen-Punkt am gravierendsten auf die Regressionsgerade auswirkt, wie Bild III. 5-62 an einem Beispiel zeigt.

Bei einer exakten statistischen Prüfung ist es nicht zulässig, während des Messens das Meßwerkzeug zu wechseln, was hier durch Einbeziehen eines zweiten Labor geschieht. Es ist ebenfalls nicht zulässig, einen einzigen Meßwert zu einer (hier sogar äußerst folgenschweren) Aussage heranzuziehen.

Die 4.000 Meilen Zulassungsfahrzeuge hätten in obigem Beispiel bestanden, wenn ausschließlich die Daten eines Labors (das auch das Behördenlabor hätte sein dürfen)

verwendet worden wären. Sie sind jedoch aufgrund der statistisch gesehen unzulässigen Vermischung von Meßwerten zweier unterschiedlicher Prüfstationen "durchgefallen". Das hier dargestellte Beispiel ist nicht hypothetisch, sondern basiert auf realen Ereignissen.

### 5.3.5.7 Neueste Änderungen im Dauerlauf-Verfahren

Am 7.5.1980 schlug die US-EPA Änderungen in dem (offenbar inzwischen auch von der Behörde selbst aus mancherlei Gründen für unbefriedigend gehaltenen) Dauerlaufprogramm vor. Dieses, am 30.06.1980 im "Federal Register" als Gesetz veröffentlichte "Alternative Durability Program" {825} enthält die in Bild III. 5-63 zusammengefaßten Änderungen und neuen Möglichkeiten zur Bestimmung des Verschlechterungsfaktors, die in einem freiwilligen Pilotprogramm über einen Zeitraum von 4 Jahren (1981 bis 1984) erprobt werden sollen.

Die EPA wird die Erkenntnisse aus diesem Experiment, von dem die Behörde Kosteneinsparungen und eine größere Zuverlässigkeit der gewonnenen Daten erwartet, benutzen, um Vorteile eines entsprechenden Pflichtprogrammes zu beurteilen. Ein solches Pflichtprogramm wird bei positivem Ausgang dieses Pilotprogrammes über eine "Notice of Proposed Rulemaking" (NPRM) im "Federal Register" veröffentlicht, zu der die Automobilhersteller vor endgültiger Gesetzesverabschiedung Stellung nehmen können.

ALTERNATIVES DAUERLAUF-VERFAHREN					
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Kostensenkung</li> <li>● Höhere Zuverlässigkeit der Daten</li> </ul>				
Charakteristische Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Übergang von Dauerlauf mit Prototypen zum Dauerlauf mit Serienfahrzeugen</li> <li>● Zusammenfassen von Motorfamilien zu Motorfamilien-Gruppen</li> <li>● Zunächst freiwilliges Pilot-Programm während der Modelljahre 1981, 1982, 1983 und 1984. Danach fällt die EPA die Entscheidung, ob das Verfahren zum Pflichtprogramm wird</li> <li>● Verschlechterungsfaktor („deterioration factor“, DF) – Bestimmung entweder anhand von herstellereigenen Daten oder nach dem Verfahren der „Minimalfaktor-Bestimmung“ der EPA</li> </ul>				
EPA-Verfahren der „Minimal-Faktor-Bestimmung“, d. h. rechnerischen Ermittlung eines „historischen DF“	<p>Das Verfahren sei an folgendem hypothetischen Beispiel erläutert: Ein Hersteller will für Modelljahr (Model Year, MY) 1982 zertifizieren. Die Zertifizierungsflotte besteht aus 6 „engine families“ (EF), die sich in 2 „engine family groups“ (EFG) zusammenfassen lassen. Gesucht werden die für diese 2 EFG für das zu zertifizierende MY anzuwendenden DF (DF<sub>EF</sub> EFG 1 und DF<sub>EF</sub> EFG 2). Hierzu betrachtet die EPA die letzten 3 MY des Herstellers, die z. B. folgende Motorfamilienzusammensetzung hatten: MY 1979 : 2 EF (1 EFG); MY 1980 : 3 EF (2 EFG); MY 1981 : 6 EF (2 EFG). Die Berechnung der „historischen“ DF für MY 82 erfolgt dann so:</p>				
	Modelljahr betrachten	1979		1980	
		EFG 1		EFG 1 EFG 2	
Annahmen	EFG notieren EF betrachten Anzahl Dauerlauf-Fahrzeuge („Durability Vehicle“, DV) zuordnen (aus den Zertifizierungsunterlagen der drei Modelljahre)	EF 1 DV 1 DV 2	EF 2 DV 1 DV 2	EF 1 EF 2 DV 1 DV 1 DV 2 DV 2 DV 3	EF 5 EFG 2 DV 1
Stufe I	Mittelwerte der DF der DV pro EF berechnen  Ergebnis = DF <sub>EF</sub> pro MY	DF 1   DF 2   : 2 DF <sub>EF</sub> 1/79	usw.	DF 1   DF 2   + DF 3   : 3 DF <sub>EF</sub> 1/80	Man erhält ebenso: DF <sub>EF</sub> 2/80 DF <sub>EF</sub> 5/80
Stufe II	Jeden DF <sub>EF</sub> mit zugehöriger Verkaufszahl wichten und wieder mitteln Ergebnis: DF <sub>EFG</sub> pro MY	DF <sub>EF</sub> 1/79 x Verkaufszahl dieser EF im MY 79 plus DF <sub>EF</sub> 2/79 x Verkaufszahl dieser EF dividiert durch 2 (Anzahl der EF) = DF <sub>EFG</sub> /79		Man erhält ebenso: DF <sub>EFG</sub> 1/80 DF <sub>EFG</sub> 2/80	Man erhält ebenso: DF <sub>EFG</sub> 1/81 DF <sub>EFG</sub> 2/81
Stufe III	Jeden DF <sub>EFG</sub> „historisch“ wichten und zwar nach dem fest vorgegebenen Verhältnis 1 : 2 : 4 (3.letztes; 2.letztes und vorletztes MY) Ergebnis: DF <sub>EFG/hist</sub>	DF <sub>EFG</sub> 1/79 x 1		DF <sub>EFG</sub> 1/80 x 2  DF <sub>EFG</sub> 2/80 x 2	DF <sub>EFG</sub> 1/81 x 4  DF <sub>EFG</sub> 2/81 x 4  DF <sub>EFG</sub> 1/hist DF <sub>EFG</sub> 2/hist
Anwendung	Anstatt für die sechs im Modelljahr 1982 zu zertifizierenden EF ~ 10 Dauerlauffahrzeuge zur Ermittlung des DF aufzubauen und zu fahren, kann der Hersteller also nach dem „Alternative Durability Program“ diese 6 EF zunächst in 2 EFG zusammenfassen und für diese jeweils einen „historischen“ DF berechnen. Diese „historischen“ DF können dann für das neu zu zertifizierende Modelljahr verwendet werden (1982). Sofort nach Serienanlauf des MY 82 werden Dauerläufe mit Serienfahrzeugen gefahren. Die damit gefahrenen DF werden in die Berechnung der DF für MY 83 einbezogen.				
Einschränkung	Das Rechenverfahren für den „historischen“ DF (Minimal-Faktor-Bestimmung) ist nur in „Carry-over“-Fällen anwendbar, d. h. wenn sich die technische Konfiguration der Motorfamilien sowohl für die zurückliegenden 3 wie auch für das neu zu zertifizierende 4. MY unverändert bleiben. Bei technisch geänderten Fahrzeug/Emissionskontroll-Konzepten müssen wie bisher Dauerläufe mit Prototypen gefahren werden.				

**Bild III.5-63:** Das „Alternative Durability Program“ der EPA, wie es probeweise und freiwillig für die Modelljahre 1981 bis 1984 zur Anwendung durch den Automobilhersteller zu Verfügung steht, nach {825}.

### 5.3.6 Das Problem realistischer Bremsbelastungseinstellungen bei Rollenprüfständen für Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests

Rollenprüfstände gehörten seit Beginn der Emissionsmessungen an Fahrzeugen mittels Fahrzyklen zum festen Bestandteil eines jeden Testlabors. Die Aufgabe eines Rollenprüfstandes ist es, die Simulation des realen Straßenfahrbetriebes am Gesamtfahrzeug im Labor zu ermöglichen.

Mit weiter fortschreitender Emissionskontrollgesetzgebung, d. h. mit sinkendem Emissionsniveau, gewann neben den Probenahmeverfahren und Analysegeräten der Rollenprüfstand als mögliche Fehlerquelle bei der Emissions- oder auch Kraftstoffverbrauchsmessung immer stärker an Bedeutung. Unzählige Abgastests dürften – oft unerkannt – mit unzureichenden oder falsch eingestellten Rollenprüfständen gefahren worden sein, wobei die finanziellen Verluste durch wertlose Tests und falsche Konsequenzen aus den Testergebnissen nicht einmal abgeschätzt werden können. Manche Diskrepanz zwischen den Testergebnissen zweier Labors (herstellerintern oder Hersteller/Behörde) ist allein auf Prüfstandseinflüsse zurückzuführen.

Außer den verfahrensinhärenten Schwierigkeiten bei der Wiedergabe echter Verkehrsbedingungen durch Fahrzyklen auf Rollenprüfständen besteht auf letzteren das grundsätzliche Problem, die vom Fahrzeug auf der Straße vorgefundenen Fahrwiderstände exakt zu simulieren.

Der Gesamtfahrwiderstand eines Fahrzeuges auf der Straße setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$F_{\text{Straße}} = F_{\text{Roll}} + F_{\text{Steigung}} + F_{\text{Beschl.}} + F_{\text{Luft}}$$

Nach [826] ist hierbei auf guten Straßen der Radwiderstand – wenn der Vorspurwiderstand nicht zu groß wird – praktisch mit dem Rollwiderstand identisch. Damit kann die Beziehung detailliert geschrieben werden:

$$F_{\text{Straße}} = m \cdot g (f_R + p + \lambda \frac{\ddot{x}}{g}) + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{\text{res}}^2$$

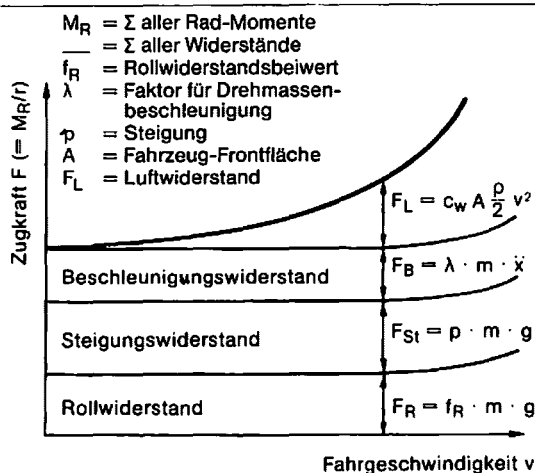
---

F	= Fahrwiderstand [N]
m	= Fahrzeugmasse [kg]
g	= Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
f <sub>R</sub>	= Rollwiderstandsbeiwert [–]
p	= Steigung [%]
λ	= Faktor für Drehmassenbeschleunigung [–]
c <sub>w</sub>	= Luftwiderstandsbeiwert [–]
A	= Fahrzeugfrontfläche [m <sup>2</sup> ]
ρ	= Luftdichte [kg/m <sup>3</sup> ]
v <sub>res</sub>	= Anströmgeschwindigkeit in Fahrtrichtung [m/s]
λ	= Fahrzeugbeschleunigung

Nach dieser Gleichung beinhaltet der Gesamtwiderstand zwei Anteile: Eine Gruppe der Widerstände ist von der Geschwindigkeit weitgehend unabhängig, während der Luftwiderstand mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst. Dieser Zusammenhang ist noch einmal in Bild III. 5-64 veranschaulicht. Darüber hinaus zeigt die obengenannte Beziehung, daß die geschwindigkeitsunabhängigen Widerstandsanteile der Fahrzeugmasse proportional sind, während der Luftwiderstand von der Masse unabhängig ist. Bei Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests reduziert sich für den Einstellpunkt der Bremseinheit des Rollenprüfstandes (konstante Geschwindigkeit, weder Steigung noch Gefälle) die Fahrwiderstandsbilanz auf:

$$F_{\text{Straße}} = F_{\text{Rolle}} = m \cdot g \cdot f_R + c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

(Beim Fahren eines Fahrzyklus wird zusätzlich der Beschleunigungsanteil  $\lambda \cdot m \cdot \ddot{x}$  durch die Schwungmasse des Rollenprüfstandes simuliert.



**Bild III.5-64:** Zur Überwindung der Fahrwiderstände erforderliche Zugkraft  $F$ , [827].

Wenn weiterhin die allgemein übliche Annahme getroffen wird, daß zwei Radialreifen auf einem Doppelrollenprüfstand (infolge des starken "Einklemmens" der Räder) die gleichen Roll- und Walkverluste aufweisen wie vier Radialreifen auf der Straße, brauchen die Rollwiderstände der beim Prüfstandsbetrieb nicht bewegten Räder auch nicht durch eine Belastung der Prüfstandsbremseinheit berücksichtigt zu werden. Hierbei ist angenommen, daß die obengenannte Rollwiderstandserhöhung der angetriebenen Räder auf der Doppelrolle zugleich die Lagerreibungsverluste der nicht angetriebenen Räder mit abdeckt.

Damit braucht nur noch der Luftwiderstand des Fahrzeugs durch die Bremseinheit des Rollprüfstandes simuliert zu werden:

$$F_{\text{Rolle}} = F_{\text{Luft}} = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$$

Treffen die zuvor gemachten Annahmen zu, muß die Prüfstands(-Zugkraft-)charakteristik einer quadratischen Funktion folgen. In der Praxis kann diesen Annahmen jedoch keine Allgemeingültigkeit zuerkannt werden, da allein schon verschiedene Prüfstandsgeometrien (Rollenabstand, Rollendurchmesser) zu unterschiedlichen Roll- und Walkverlusten führen. Darüber hinaus zeigen auch die Fahrzeugreifen durchaus nicht immer eine einheitliche Tendenz im Rollwiderstandsverhalten beim Übergang von der Straße auf den Rollenprüfstand.

Da nun der Gesetzgeber nicht einfach eine individuelle Luftwiderstandssimulation als Bremsbelastung bei Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests vorschreiben konnte (was schon wegen des nicht nach einheitlichen Meßverfahren bestimmten  $c_w$ -Wertes unmöglich gewesen wäre), suchte er nach anderen einfachen Zusammenhängen, um den Straßen-Fahrwiderstand auf dem Rollenprüfstand simulieren zu können. Die gesetzlichen Vorschriften bedienten sich zunächst der beiden folgenden Verfahren:

- Bremslasteinstellung aufgrund einer empirisch gefundenen Relation zwischen Fahrzeuggröße oder Fahrzeugmasse und Fahrwiderstand
- Bremslasteinstellung nach dem bei Straßenfahrt mit konstanter Geschwindigkeit gefundenen Saugrohrunterdruck

Mit fortschreitender Verschärfung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte und damit steigenden Anforderungen an die Genauigkeit aller am Testprozeß beteiligten Faktoren, erwiesen sich die beiden genannten Verfahren als immer weniger tragbar.

So wenig Methode a) die - besonders wegen der in den letzten Jahren etablierten Kraftstoffverbrauchsgesetzgebung immer stärker betonten - aerodynamischen Verbesserungen an einem Fahrzeug berücksichtigt, so ungenau und schlecht reproduzierbar erweist sich Methode b) speziell seit dem Einsatz von unterdruckbeeinflussenden Abgasreinigungsmaßnahmen. Daher wurde konsequenterweise Methode b) von der US-EPA am 12.09.1977 mit Gültigkeit ab Modelljahr 1979 aus den gesetzlichen Vorschriften gestrichen und kann nur noch auf Sonderantrag eines Herstellers im speziellen Fall wieder genehmigt werden {828}. Methode a) dagegen wurde ständigen Verbesserungen unterworfen, die sich in folgenden Stufen abwickelten:

- c) Berechnung der Bremsbelastung aus Form- und Protuberanzbeiwerten der gesamten Fahrzeugkarosserie
- d) Berechnung der Bremsbelastung aus der Frontfläche des Fahrzeuges

Methode d) wurde dann schließlich über den Schritt der Berechnung der Bremsbelastung aus der Frontfläche des Fahrzeuges mit Fahrzeugklasseneinteilung zur endgültigen Form einer Berechnung der Bremsbelastung unter Berücksichtigung von Fahrzeugfrontfläche, Fahrzeugklasse und aerodynamischen (klassierten) Beiwerten vervollkommen und repräsentiert damit die heute gesetzlich gültige Berechnungsvorschrift zur Bremsbelastungsermittlung {829}.

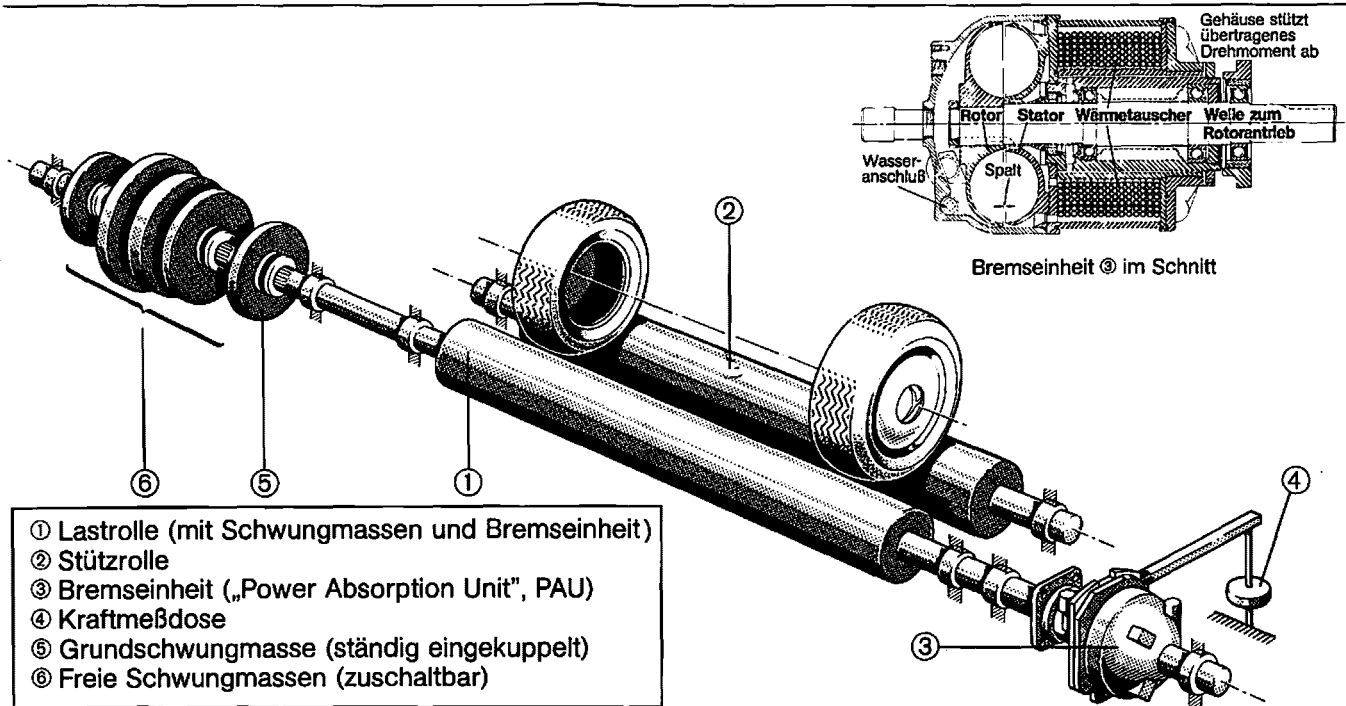
Außer dem letztgenannten gesetzlichen Verfahren erlaubt die US-EPA auf Wunsch des Automobilherstellers die Verwendung von Alternativverfahren {830}, wie z. B.

- e) Berechnung der Bremsbelastung durch Ableitung des Fahrwiderstandes aus einem Fahrzeug-Ausrollversuch
- f) Direkte Messung des realen Fahrwiderstandes auf der Straße mittels Drehmomentaufnehmern im Fahrzeugantrieb (Triebstrang, Räder)

Wegen der elementaren Bedeutung einer zuverlässigen Prüfstandsbelastungseinstellung für die Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests der Zertifizierung (und selbstverständlich auch der entsprechenden Entwicklungstests) seien die Grundlagen sowie Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren in diesem Kapitel näher betrachtet. Bevor jedoch die steigende Bedeutung des Rollenprüfstandes anhand der sich auch in dieser Richtung fortentwickelnden Gesetzgebung verdeutlicht wird, sollen zunächst die heute am meisten verbreiteten Prüfstandsarten und deren Eigenschaften kurz aufgezeigt werden.

#### 5.3.6.1 Der Rollenprüfstand mit Wasserwirbel-Bremse

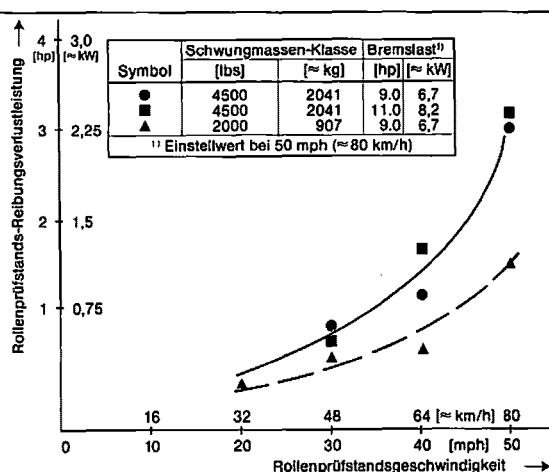
In den Zertifizierungslabors von US-Automobilherstellern und von Importeuren finden meist Prüfstände derjenigen Bauart Verwendung, wie sie auch im Behördenlabor der EPA eingesetzt werden. Diese Prüfstände waren bis vor wenigen Jahren mit Wasserwirbelbremse als "power absorption unit" (PAU) ausgerüstet. In Bild III. 5-65 ist dieser Rollenprüfstandstyp schematisch dargestellt.



**Bild III.5-65:** Schematische Darstellung eines Fahrzeug-Rollenprüfstandes am Beispiel eines Clayton-Dynamometers mit Wasserwirbelbremse.

Die Wasserwirbelbremse nimmt Leistung nach folgender Beziehung auf {831}:

$$P = A \cdot V^b$$



**Bild III.5-66:** Einfluß der Rollenprüfstandsgeschwindigkeit auf die Reibungsverlustleistung eines Clayton-Prüfstandes, nach [833].

wobei A durch die in der Bremsenheit vorhandene - variierbare - Wassermenge bestimmt wird und V die Geschwindigkeit der Welle ist. Der Exponent b hängt von der Bremsenkonstruktion ab und hat z. B. für Clayton Dynamometer einen Mittelwert von 2.83 und einen Bereich von 2.81 bis 2.87 {831}.

Außer der von der Bremsenheit aufgenommenen Leistung, sind noch Lager- und Ventilationsverluste zu überwinden, die bei Clayton {831} 2 bis 4 hp (≈ 1.5 bis 3 kW) bei 50 mph (≈ 80 km/h) betragen.

Diese Reibungsverluste hängen stark von der eingekuppelten Schwungmasse ab, wobei diese Verluste besonders bei größeren Schwungmassen

nicht linear über der Geschwindigkeit verlaufen. Bild III. 5-66 zeigt diese Abhängigkeit. Der gesamte Rollenprüfstand (d. h. Wasserwirbelbremse plus Reibungsverluste) zeigt also eine Leistungsaufnahme nach folgender Formel

$$P = K \cdot V + A \cdot V^b$$

wobei K mit der Rollengeschwindigkeit und der eingekuppelten Schwungmasse variiert.

Der Wert für A ist beim instationären Betrieb nicht konstant, da sich die pro Lastpunkt in der PAU benötigte Wassermenge erst aufbauen muß. Wegen dieser Hysterese

kann die Last bei instationärem Betrieb wesentlich von der bei stationärem Betrieb für den jeweiligen Geschwindigkeitspunkt vorhandenen Belastung abweichen. Darüber hinaus ist die Hysterese von Prüfstand zu Prüfstand unterschiedlich: einige PAU zeigen kaum Zeitverzögerungen, andere haben eine Hysterese bis zu  $\pm 1$  ft.lb. ( $\approx 1.36$  Nm) bei Beschleunigungen und bei Verzögerungen von 3 mph/s ( $\approx 4.8$  km/h pro s), wie sie für den Emissionstest typisch sind (bezogen auf den 10 bis 40 mph ( $\approx 16$  bis 64 km/h) Geschwindigkeitsbereich). Die Hysterese-Streuungen zwischen verschiedenen Prüfständen liegen vermutlich im Wärmetauscher begründet {833}.

Für ein Fahrzeug der 4500 lb ( $\approx 2040$  kg) Testmassen-Klasse müssen bei 20 mph ( $\approx 32$  km/h) etwa 17 ft.lbs. ( $\approx 23$  Nm) absorbiert werden. Das bedeutet einen maximalen Hysterese-Fehler von  $\pm 6$  % in der Last/Geschwindigkeitskurve. Dieser Einfluß der Hysterese bei instationärem Betrieb ist deutlich, aber wenn man das aufzubringende Gesamtdrehmoment für die PAU und die Schwungmassen von  $\approx 260$  ft.lbs. ( $\approx 352$  Nm) für die obengenannten Werte von Fahrzeugmasse, Geschwindigkeit und Beschleunigungsrate) betrachtet, beträgt der Fehlereinfluß nur noch  $\pm 0.4$  % (bei höheren Geschwindigkeiten als 20 mph noch weniger) {833}.

Es ist also nicht so sehr die Hysterese der Wasserwirbelbremse, als vielmehr die nicht variierbare, da "fest eingebaute" Leistungsaufnahmecharakteristik über der Fahrgeschwindigkeit, die sich eventuell als Nachteil derartiger Prüfstände zeigen kann. Da aber theoretisch die Luftwiderstandsleistung (nur diese ist gemäß den früher zitierten Annahmen vom Rollenprüfstand zu simulieren) proportional der 3. Potenz der Fahrgeschwindigkeit ist, und Clayton behauptet, in vielen Versuchen gefunden zu haben, daß dieser Exponent "innerhalb des Bereiches von 2,8 bis 2,9 und meist leicht unterhalb des Medians dieser Werte liegt" {834}, wurden die Clayton Prüfstände mit hydrokinetischer Bremseinheit nach der Beziehung

$$P \approx V^b$$

(mit  $2.8 < b < 2.9$  und  $b_{\text{mittel}} = 2.83$ )

konstruktiv festgelegt. Mit der sich ergebenden Gesamtbeziehung:

$$P = K \cdot V + A \cdot V^{2.83}$$

kann nicht in jedem Fall die reale Straßen-Fahrwiderstandscharakteristik exakt reproduziert werden. Ein individueller Angleich der Prüfstandscharakteristik bei Abweichung vom realen Leistungsaufnahmeverlauf auf der Straße ist praktisch nicht möglich.

Untersuchungen von GM haben ergeben, daß einige Fahrzeuge durch Clayton Dynamometer unterhalb des Einstellpunktes von 50 mph ( $\approx 80$  km/h) unterbelastet und oberhalb von 50 mph überbelastet werden. Der Unterschied zwischen Prüfstands- und Straßenlast betrug bei 20 mph: - 0.3 hp ( $\approx 0.22$  kW) bis - 1.0 hp ( $\approx 0.75$  kW) entsprechend - 12 % bis - 33 % (Mittelwert: - 0.5 hp ( $\approx 0.37$  kW) entsprechend - 18 %); bei 35 mph: - 0.1 hp ( $\approx 0.075$  kW) bis - 1.0 hp ( $\approx 0.75$  kW) entsprechend - 2 % bis - 14 % (Mittelwert: - 0.5 hp ( $\approx 0.37$  kW) entsprechend - 7 %). Ein anderes Fahrzeug wurde auf dem



Dynamometer bei 20 mph ( $\approx 32$  km/h) um 28 % und bei 35 mph ( $\approx 56$  km/h) um 10 % gegenüber Straßenverhältnissen zu hoch belastet [835].

Daraus folgt, daß die konstruktionsbedingte Lastaufnahmecharakteristik eines Rollenprüfstandes mit Wasserwirbelbremse zwar eine Reproduktion der Straßenbedingungen im Einstellpunkt (z. B. bei 50 mph) erlaubt, daß der übrige Lastbereich jedoch zu hoch oder auch zu niedrig liegen kann.

#### 5.3.6.2 Der Rollenprüfstand mit Wirbelstrom-Bremse

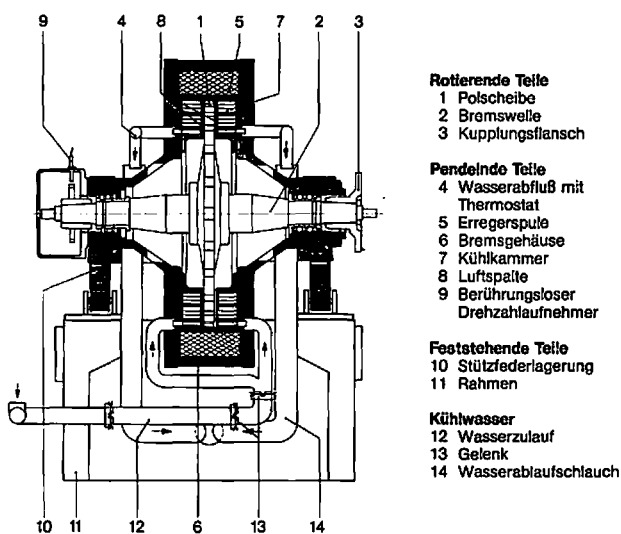


Bild III.5-67: Schnitt durch eine Wirbelstrom-Leistungsbremse von Schenck, [836].

Eine bezüglich Konstanz, Hysteresis und Einstellgenauigkeit bessere (wenn auch teurere) Lösung für die Bremseinheit des Rollenprüfstandes ist die Wirbelstrombremse. In Bild III. 5-67 ist eine solche Einheit am Beispiel eines Schenck-Prüfstandes im Aufbau dargestellt.

Die Wirbelstrombremse hat nicht wie das zuvor beschriebene hydrokinetische Prinzip eine inhärente Kubik-Charakteristik der Leistungsaufnahme. Das aufgenommene Drehmoment ist hier etwa proportional der Fahrgeschwindigkeit ( $M \sim v$ ). Da jedoch wieder  $M \sim v^2$  (oder  $P \sim v^3$ ) gefordert wird, um den Luftwiderstand (oder die

Luftwiderstandsleistung) zu simulieren, wird der Strom  $i$  in der Erregerspule so geregelt, daß  $i \sim v$  ist. Damit wird  $M \sim v^\gamma$  mit  $2 \leq \gamma < 3$ . Diese für die meist benutzten Prüfstände übliche Annäherung an den Luftwiderstand ist jedoch nicht ausreichend, da  $\gamma \neq 2$  angesetzt wird. Neuere Ausführungen verwenden daher elektronische Eingriffe in die Erregerspule, um die Straßenlastbedingungen realistischer zu reproduzieren [837].

#### 5.3.6.3 Der Rollenprüfstand mit Gleichstrom-Bremse

Mit dieser - im Vergleich zu den zuvor genannten Ausführungsformen teuersten - Prüfstandsart kann die beim Fahren auf der Straße gültige Beziehung für das Moment

$$M = a_0 + a_1 \cdot v + a_2 v^2$$

nahezu perfekt auf dem Rollenprüfstand simuliert werden. Der Ausdruck  $a_0$  repräsentiert den Rollwiderstand,  $a_1 v$  die Reibungsverluste und  $a_2 v^2$  den Luftwiderstand. Die Prüfstandsreibungsverluste  $a_1 v$  können elektrisch kompensiert werden.

Diese Prüfstandsausführung kann sowohl mit diskreten Massen als auch mit einer elektrischen Schwungmassensimulation (Anpassung an die individuelle Fahrzeugmasse möglich!) ausgerüstet werden. Darüber hinaus bietet sie als einzige Bauart weitergehende Möglichkeiten, die besonders in Verbindung mit einem mit Drehmomentmeßeinrichtung im Fahrzeug-Antriebsstrang ausgerüsteten Fahrzeug zum Tragen kommen. So kann auf einem "Gleichstromprüfstand" nicht nur jede beliebige Prüfstandskennlinie, die zuvor mit

Wasserwirbelbremse	Wirbelstrombremse	Gleichstrommaschine
<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● preisgünstig (Clayton ECE-50<sup>1)</sup> mit Doppelrolle: ≈ 65 000 US \$ (ohne Einbau; mit automatischer „Road Load Power Control“) Nachrüsten auf Wirbelstrombremse möglich (Nachrüstsatz: ≈ 95 000 US \$)</li> </ul> <p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● nicht hysteresefrei, bei dynamischem Fahren Aufbau der Bremskraft mit Zeitverzug</li> <li>● Fahrwiderstandscharakteristik konstruktionsbedingt und nicht veränderbar. Daher reale Fahrwiderstandskurve nicht immer exakt reproduzierbar</li> <li>● kann nicht „treibend“ eingesetzt werden</li> <li>● kein Arbeitspunkt unterhalb Rollwiderstand möglich</li> </ul>	<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● praktisch hysteresefrei, daher gute Reproduzierbarkeit der eingestellten Bremslasten</li> </ul> <p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● kann nicht „treibend“ eingesetzt werden</li> <li>● kein Arbeitspunkt unterhalb des Rollwiderstandes möglich</li> <li>● Wasserkühlung erforderlich</li> <li>● Höherer Preis<sup>2)</sup> als Wasserwirbelbremse, Preise (ohne Einbau) etwa: 150 000 DM (Schenck)</li> </ul>	<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● alle Fahrwiderstandsanteile individuell simulierbar, daher auch jede beliebige Fahrwiderstandskurve von der Straße oder einem anderen Dynamometer simulierbar<sup>3)</sup></li> <li>● Einfache Ermittlung und Kompensation der Prüfstandsverluste im gesamten Geschwindigkeitsbereich</li> <li>● kann „treibend“ eingesetzt werden, dadurch Prinzipversuche möglich</li> <li>● mit elektrischer Massensimulation<sup>4)</sup> jedes dynamische Lastverhalten realisierbar</li> </ul> <p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Hoher Preis<sup>2)</sup>, ohne Einbau etwa: Clayton ≈ 115 000 bis 125 000 US \$ Aesi (vollelektronisch) ≈ 125 000 US \$ Horiba ≈ 145 000 US \$ Consine ≈ 65 000 bis 70 000 £ Schenck ≈ 280 000 DM Hoffmann ≈ 280 000 bis 300 000 DM</li> </ul>
<p>1) z. B. für Zertifizierungszwecke im Labor der US-EPA in Ann Arbor ausschließlich verwendet. 2) Alle Preisangaben Stand März 1981 nach Herstellerangabe. Preisdifferenzen auch durch unterschiedliche Leistung und Ausstattung des Prüfstandes bedingt. 3) Individuelle Fahrwiderstandsanteile nur in Verbindung mit Drehmomentmessung im Fahrzeug exakt (realistisch) einstellbar. 4) elektrische Massensimulation bei Zertifizierungs-Prüfständen nur für Zwischenstufen zu empfehlen, die gesetzlich vorgeschriebenen Abstufungen sollten in jedem Fall durch diskrete Massen erfolgen.</p>		

einem "Drehmomentfahrzeug" auf irgendeiner anderen Prüfstandsart (z. B. bei einer Behörde während eines Korrelationsprogrammes) aufgenommen wurde, sondern auch jede gewünschte - zuvor im realen Straßenbetrieb ermittelte - Fahrwiderstandscharakteristik exakt reproduziert werden.

Durch Anheben des Fahrzeuges bis die Reifen gerade noch, d. h. nahe-

**Bild III.5-68:** Vor- und Nachteile der heute gebräuchlichsten Bremseneinheiten von Fahrzeug-Rollenprüfständen (hauptsächlich auf Emissionstest-Belange bezogen)

zu achslastfrei vom Prüfstand her angetrieben werden, können z. B. auch Roll- und Walkverluste eines Fahrzeuges von dessen Triebstrangverlusten getrennt werden [838].

Darüber hinaus bietet die Fähigkeit der Bremseneinheit, auch als Motor zu arbeiten, die Möglichkeit, die Eigenreibung des Prüfstandes zu ermitteln, und elektronisch "gegenzuspeisen" mit gleichzeitiger elektronischer Definition dieses Zustandes als "Nullzustand". Damit ist jede Veränderung der Reibungsverhältnisse sofort als Abweichung von diesem Nullzustand erkennbar und durch Wiedereinstellen des Nullzustandes auch in der Größe erfassbar.

Eine elektrische Massensimulation sollte jedoch höchstens in Verbindung mit diskreten Schwungmassen (in den bei Abgastests üblichen Abstufungen) verwendet werden, da bei rein elektrischer Massensimulation neue, nicht kontrollierbare Unsicherheiten auftreten (Ansprechzeit, Kontrolle). In Bild III. 5-68 sind noch einmal die Vor- und Nachteile der drei zuvor genannten Rollenprüfstandsarten zusammengefaßt.

#### 5.3.6.4 Einstellung der Bremsbelastung nach Tabelle

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß sich die Fertigungsprozesse von Pkw weltweit ähnlich sind, wurde von der EPA die Annahme weltweit ähnlicher "Fahrzeug(-massen-)dichte" als gerechtfertigt angesehen, d. h. es wurde von den ersten Emissionsmessungen auf Fahrzeugrollenprüfständen bis einschließlich Modelljahr 1978 davon ausgegangen, daß die Fahrzeugmasse dem Fahrzeugvolumen proportional ist:  $m \sim V$  [839]. Zusätzlich nahm die EPA das Volumen etwa proportional dem Produkt aus den drei Hauptabmessungen an, woraus weiter gefolgert wurde, daß die drei Hauptabmessungen mit steigender Masse gleichmäßig wachsen. Damit wird jede Hauptabmessung etwa proportional der 3. Wurzel aus der Fahrzeugmasse:  $D \sim m^{1/3}$  (D = irgendeine der 3 Hauptdimen-

sionen des Fahrzeuges).

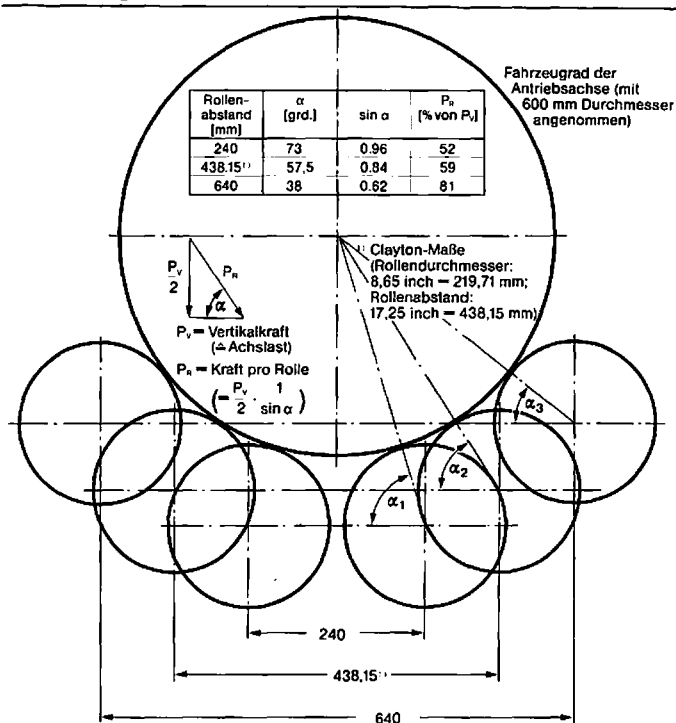
Die auf dem Prüfstand zu simulierende Last soll nun dem Fahrwiderstand des Fahrzeuges auf der Straße entsprechen, der sich aus Luft- und Rollwiderstand zusammensetzt. Die Hauptquelle des Rollwiderstandes sind die Reifen. Auf eine Simulation des durch die Reifen verursachten Widerstandes kann auf dem Prüfstand jedoch verzichtet werden, wenn die schon zuvor genannte Annahme getroffen wird, daß zwei Radialreifen auf einem Doppelrollenprüfstand etwa den gleichen Rollwiderstand ergeben wie vier Radialreifen auf ebener, trockener Fahrbahn. Damit muß nur noch der Luftwiderstand des Fahrzeuges von der Bremseinheit des Rollenprüfstandes simuliert werden. Die Luftwiderstandsleistung ist etwa proportional der Frontfläche des Fahrzeuges, die ihrerseits wieder etwa proportional dem Produkt aus Fahrzeugbreite und -höhe ist:  $P \sim A \sim B \cdot H$ . Weil  $B \sim m^{1/3}$  und  $H \sim m^{1/3}$  ergibt sich:  $P \sim m^{2/3}$  {840}.

Die obigen Annahmen sind nicht genau, und daher wurde für die mathematische Betrachtung eine Modellgleichung verwendet:  $P = a \cdot m^x$ . Nach Auswertung von 67 Fahrzeuguntersuchungen mittels nicht linearer Regressionsrechnung (Logarithmierung obiger Formel und der dann möglichen linearen Regressionsrechnung) ergab sich die Abhängigkeit:

$$P = 0.253 \cdot m^{0.456} \quad [\text{hp}]$$

Diese Formel galt für den gesetzlichen Einstellpunkt von 50 mph für Fahrzeuge mit Gürtelreifen auf dem üblichen (hier: Clayton-)Doppelrollenprüfstand. Damit konnte in einer Tabelle eine feste Zuordnung von Fahrzeugmasse und einzustellender Bremsbelastung (= Fahrwiderstandssimulation) gegeben werden {840}.

Die Tragweite dieser tabellarischen Festlegung des Zusammenhanges von Fahrzeugmasse



und Bremsbelastung wurde jedoch nicht gesehen und zahlreiche Unterschiede der Meßergebnisse an ein und demselben Fahrzeug in verschiedenen Labors die nicht nur Clayton-Rollenprüfstände verwendeten, blieben unerklärbar. Erst mittels der von Daimler-Benz entwickelten und in Kap. 5.3.6.9.3 näher beschriebenen Drehmoment-Meßeinrichtung in den Fahrzeugantriebsrädern konnte z. B. anlässlich einer Prüfstandskorrelation mit einem Behördenlabor in Australien bewiesen werden, daß bei Zugrundelegung gleicher Bremslast nach Tabelle in den Labors des Automobilherstellers und der Behörde (in denen Rollenprüfstände unterschiedlicher Geometrie verwendet wurden)

Bild III. 5-69: Einfluß der Geometrie des Fahrzeug-Rollenprüfstandes auf die Aufstandskräfte des Reifens und damit auf den Roll- und Walkwiderstand (hier am Beispiel einer Veränderung des Rollenabstandes gezeigt).

stark verschiedene Bremsbelastungen für

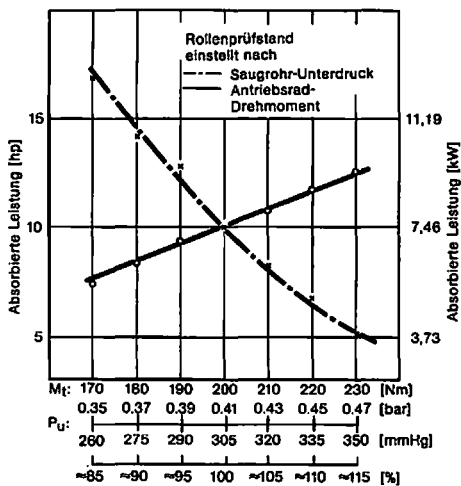
das Fahrzeug auftraten, da der Tabellenwert in keiner Weise verschiedene Rollenprüfstandsgeometrie berücksichtigen kann. Der Rollendurchmesser und der Rollenabstand haben aber - wie in Bild III. 5-69 verdeutlicht ist - entscheidende Bedeutung für den Reifen-Rollwiderstand und führen über unterschiedliche Motorbelastung schließlich zu verschiedenen Emissionstestergebnissen und Kraftstoffverbrauchswerten. Dieser mittels Drehmomentmethode geführte Nachweis des obengenannten Einflusses der Prüfstandsgeometrie bei Verwendung von Tabellenwerten zur Bremsbelastungseinstellung war ein neuer wesentlicher Gesichtspunkt bei der weiteren Diskussion der zwischen Hersteller- und Behördenlabor aufgetretenen Diskrepanzen im Abgastestergebnis.

#### 5.3.6.5 Einstellung der Bremsbelastung nach Saugrohrunterdruck

Auf ebener trockener Straße, die zweckmäßigerweise keine Steigung und kein Gefälle haben sollte, wird - möglichst bei Windstille - der Saugrohrunterdruck des Motors in bestimmten Punkten konstanter Fahrgeschwindigkeit ermittelt. Der so gefundene Wert wird mit dem gleichen Fahrzeug möglichst umgehend auf dem zum Test vorgesehenen Rollenprüfstand reproduziert und der entsprechende Belastungswert für die vorgegebene Geschwindigkeit von der Prüfstands-Skala abgelesen. Diese Zahl gilt als Bremslasteinstellwert für den entsprechenden Fahrzeugtyp.

Die obengenannte Saugrohrunterdruckmessung entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen an die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Lasteinstellverfahren, die als Grundlage von Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests dienen sollen. Sie ist in der ECE("Economic Commission for Europe")-Emissionskontrollgesetzgebung daher auch nur noch als eine von mehreren Methoden anwendbar. In der US-Emissionskontrollgesetzgebung wurde die Saugrohrunterdruckmessung wegen ihrer Unzulänglichkeiten ab Modelljahr 1979 gestrichen und kann nur noch auf speziellen Wunsch eines zertifizierenden Automobilherstellers genehmigt werden. Allein Japan hält offiziell noch ausschließlich an der Saugrohrunterdruckmessung zur Bremslastbestimmung fest, doch wird bereits behördenintern bereichsweise fast nur noch die Drehmomentmethode (besonders für die Bremslastermittlung für Fahrzeuge mit Diesel-Motor) verwendet. Es ist zu hoffen, daß nun auch hier alternative Lasteinstellverfahren (Drehmomentmethode, Ausrollverfahren) bald zugelassen werden (entsprechende Verhandlungen laufen seit 1979 zwischen Daimler-Benz und dem japanischen "Ministry of Transport" - MOT).

Die praktischen Mängel der Saugrohrunterdruck-Methode (die auch unbrauchbar wird, wenn bestimmte Abgasreinigungsmaßnahmen den Saugrohrunterdruck beeinflussen) seien nachfolgend an einigen Beispielen erläutert. In Bild III. 5-70 sind Mittelwerte aus Saugrohrunterdruck- und Drehmomentmessungen (letztere in den Fahrzeug-Antriebsrädern) während einer Prüfstandseinstellung aufgetragen. Durch die lineare Charakteristik des Drehmomentverlaufes gegenüber dem nicht linearen Verhalten des Saugrohrunterdruckes und der flacheren Steigung der Drehmomentkurve ergeben sich zwei für die Unterdruckmethode nachteilige Aussagen: Bei einem angenommenen "negativen Fehler von 5 %" d. h. versehentlich zu gering gemessener Belastung (190 statt 200 Nm oder 320 statt 305 mm Hg)



**Bild III.5-70:** Vergleich der Fehlermöglichkeit bei der Rollenprüfstandseinstellung nach Saugrohr-Unterdruck und Antriebsrad-Drehmoment, [841].

läge bei Verwendung der Drehmoment-Methode nur ein Fehler in der am Prüfstand eingestellten Bremsbelastung von  $\approx 10\%$  (9 statt 10 hp, entsprechend  $\approx 6.7$  statt  $\approx 7.5$  kW), die Verwendung der Unterdruck-Methode ergäbe jedoch einen Fehler von  $\approx 20\%$  (8 statt 10 hp entsprechend  $\approx 6$  kW statt  $\approx 7.5$  kW).

Bei einem "positiven Fehler" von 5 % zum angenommenen Nennmoment (d.h. versehentlich zu hoch gemessener Belastung) betrüge der in der Prüfstandsbelastungseinstellung verursachte Fehler bei Zugrundelegung der Drehmoment-Methode abermals nur  $\approx 10\%$  (11 hp statt 10 hp entsprechend  $\approx 8.2$  kW statt  $\approx 7.5$  kW), die PAU des Prüfstandes würde jedoch mit 13 hp ( $\approx 9.7$  kW) statt mit 10 hp ( $\approx 7.5$  kW) entsprechend 30 % Fehler bei Verwendung der Unterdruck-Methode eingestellt werden. Es ist bei diesem Vergleich außerdem noch zu berücksichtigen, daß ein 5 %-Fehler bei einer Unterdruckmessung auf der Straße sehr schnell auftritt, während entsprechende Fehler bei der Drehmoment-Methode kaum 1 % überschreiten.

Einstellwerte für Rollenprüfstand	Zugkraft-Anzeige	
	Mittelwert [N]	Bereich [N]
$v = 50 \text{ km/h}$ ( $n_{\text{MOT}} = 1610 \text{ U/min}$ ) $p = 330 \text{ mm Hg}^*)$ (0.44 bar)	150	135 bis 175
$v = 80 \text{ km/h}$ ( $n_{\text{MOT}} = 2580 \text{ U/min}$ ) $p = 285 \text{ mm Hg}^*)$ (0.38 bar)	355	320 bis 390
$v = 50 \text{ km/h}$ $M_t = 115 \text{ Nm}$	Einstellung der Bremslast nach Drehmoment	135
$v = 80 \text{ km/h}$ $M_t = 300 \text{ Nm}$		
	300	300 bis 310

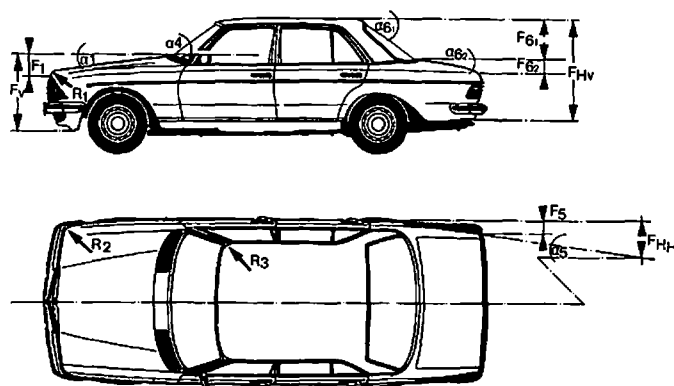
\*) Angaben auch in [mm Hg], da Fahrer die Bremslast nach Quecksilbersäule einstellen mußte

**Bild III.5-71:** Unterschied von Mittelwert und Streubreite der tatsächlich erzielten Bremslast bei Einstellung des Rollenprüfstandes nach Saugrohr-Unterdruck und nach Antriebsrad-Drehmoment, [841].

Diese Feststellung wird auch durch Bild III.5-71 untermauert, das eine in der täglichen Praxis bei Prüfstandseinstellungen häufig vorliegende Situation wiedergibt. Zunächst wurde 5 Fahrern ein (auf der Straße bei 50 km/h ermittelter) Saugrohrunterdruckmeßwert von 0.44 bar und dann der entsprechend ermittelte 80 km/h-Wert von 0.38 bar als Maß zur Bremslasteinstellung des Prüfstandes vorgegeben. Die Zugkraftanzeige des Prüfstandes war bei dem Versuch verdeckt (um eine Beeinflussung der Fahrer auszuschalten), die jeweils erzielte - von der Prüfstandswaage angezeigte - Belastung wurde notiert. Bei den 5 Fahrern ergab sich eine Streuung von 40 N Bremslast im 50 km/h-Punkt und 70 N im 80 km/h-Punkt, obwohl alle Fahrer glaubten, den jeweils vorgegebenen Saugrohrunterdruck exakt eingestellt zu haben.

Anschließend wurde der Versuch wiederholt, wobei als Einstellziel die auf der Straße gefundenen Drehmomentwerte in den Antriebsrädern von 115 Nm bei 50 km/h und 300 Nm bei 80 km/h vorgegeben wurden. Die Überlegenheit des Drehmomentverfahrens d.h. die Unzulänglichkeit der Saugrohrunterdruckmethode wird aus der jetzt erzielten Streuung von nur 5 N bei 50 km/h und 8 N bei 80 km/h klar ersichtlich.

### 5.3.6.6 Berechnung der Bremsbelastung aus aerodynamischen Annahmen: Die "Formbeiwert-Methode"



**Bild III.5-72:** Charakterisierung von Fahrzeugvorder- und Heckteil mittels Vertikal- und Horizontalschnitten, Krümmungs- und Übergangsradien sowie Neigungswinkeln, nach [843].

Bei dem Bemühen, das in Kap. 5.3.6.4 beschriebene Tabellen-Verfahren zu verbessern und die Nachteile der in Kap. 5.3.6.5. diskutierten Saugrohrunterdruck-Methode zu vermeiden, schlug die EPA am 10. September 1976 vor, die Bremsbelastung aufgrund von aerodynamischen Annahmen zu berechnen. Obwohl dieses Verfahren nicht zum praktischen Einsatz kam, sei es der entwicklungsgeschichtlichen Vollständigkeit halber in diesem Zusammenhang mit diskutiert.[842].

Die Berechnung der Bremsbelastung beinhaltet bei dieser Methode die Berücksichtigung zahlreicher Karosseriedaten, wie aus Bild III. 5-72 erkenntlich ist. Sie erfolgte nach der auf den 50 mph-Einstellpunkt bezogenen Formel:

$$P = 2.48 + 4.78 \cdot 10^{-1} \cdot A + 1.73 \cdot 10^{-2} \cdot A \cdot S + 1.56 \cdot P + 2.17 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot W \quad [\text{hp}]$$

A = Fahrzeugfrontfläche [ft<sup>2</sup>]

T = Reifenfaktor

S, P = Form- und Protuberanzbeiwert

W = Fahrzeugmasse [lbs]

Form-Beiwert	Charakterisiert	Wert	Fahrzeugform
S1	Längsschnitt des Fahrzeugvorderteils und Übergang zur Stirnfläche	-1 -1 0 +1	Fahrzeuge, bei denen die Projektionen des Vorderteils, das weniger als 30° von der Horizontalen geneigt ist, wenigstens 33% der Frontfläche des Fahrzeugs beträgt, die sich unterhalb des Übergangs Fahrzeug/Windschutzscheibe befindet Fahrzeuge, bei denen der Übergang vom Vorderteil zur Stirnfläche einen Radius von 8" (~ 203 mm) in allen Längsschnitten aufweist Fahrzeuge, die nicht die Kriterien für s = -1 erfüllen, deren Übergangsradius zur Stirnfläche jedoch 4" < s ≤ 8" (~ 102 < s ≤ 203 mm) beträgt Für alle anderen Fahrzeuge
S2	Übergang zwischen Front- und Seitenfläche bei horizontalen Schnitten	-1 0 +1	Fahrzeuge, bei denen der Übergang in allen Horizontalschnitten einen Radius > 8" hat und die keine Protuberanzen in diesem Bereich aufweisen Fahrzeuge, bei denen der Übergangsradius 4" < r ≤ 8" beträgt Für alle anderen Fahrzeuge
S3	Windschutzscheibe und Übergang zu den Fahrzeugseitenflächen bei horizontalen Schnitten	-1 0 +1	Fahrzeuge, bei denen der Krümmungsradius des Übergangs von Mitte Windschutzscheibe zur Seitenfläche > 8" beträgt Fahrzeuge, bei denen dieser Radius 4" < r ≤ 8" beträgt Für alle anderen Fahrzeuge
S4	Neigungswinkel der Windschutzscheibe aus der Horizontalen in Scheibenmitte	-1 0 +1	Fahrzeuge, bei denen dieser Winkel < 30° beträgt Fahrzeuge, bei denen dieser Winkel 30° ≤ i < 60° beträgt Für alle anderen Fahrzeuge
S5	Übergang der Fahrzeugseitenflächen zur Heckfläche bei horizontalen Schnitten	-1 0 +1	Fahrzeuge, bei denen mindestens 33% der hinteren Projektionsflächen Schnittlinien mit horizontalen Längsschnitten unter einem Winkel von < 20° von der Fahrzeug-Längsachse aufweisen Fahrzeuge, bei denen dieser Anteil: 20% ≤ Anteil < 33% beträgt Für alle anderen Fahrzeuge
S6	Längsschnitte des Fahrzeughecks und Übergang in Heckfläche	-2 -1 0 +1 +2	Für Fahrzeuge, bei denen mehr als 50% der hinteren Projektionsfläche Schnittlinien mit vertikalen Längsschnitten aufweisen, die weniger als 20° von der Horizontalen geneigt sind Für Fahrzeuge, bei denen dieser Anteil: 30% < Anteil ≤ 50% beträgt Für Fahrzeuge, bei denen mehr als 33% der hinteren Projektionsfläche Schnittlinien mit vertikalen Längsschnitten aufweisen, die weniger als 45° von der Horizontalen geneigt sind Für alle anderen Fahrzeuge mit geschlossenem Heck Für alle anderen Fahrzeuge mit offenem Heck (z. B. „Pick-up“-Wagen)

**Bild III.5-73:** Form-Beiwerte zur Berechnung des Fahrzeug-Luftwiderstandes im Rahmen des von der US-EPA ehemals ab Modelljahr 1979 geplanten Berechnungsverfahrens für die Bremsbelastung des Fahrzeugrollenprüfstandes beim Abgas- und Kraftstoffverbrauchstest, nach [843].

Protuberanz-Beiwert	Wert	Bedingungen
P1	1 (0)	Fahrzeug hat Dachgepäckträger. (Wert = 0, wenn kein Gepäckträger vorhanden)
P2	- (0)	Anzahl der in den Luftstrom ragenden äußeren Antennen (Wert = 0, wenn keine solche Antenne vorhanden)
P3	- (0)	Anzahl der Haubenornamente, die mehr als 0.375" (~ 9.5 mm) in den Luftstrom ragen (Wert = 0, wenn kein solches Ornament vorhanden)
P4	-	Anzahl der Spiegel, die nicht direkt im Luftstrom liegen und aerodynamische Form haben (Länge muß max. Breite überschreiten)
P5	-	Anzahl der Spiegel, die nicht die Maßauflage von p <sub>4</sub> erfüllen
P6	-	Anzahl der Spiegel, die direkt im Luftstrom liegen und aerodynamische Form haben
P7	-	Anzahl der Spiegel, die nicht die Kriterien von p <sub>4</sub> bis p <sub>6</sub> erfüllen

**Bild III.5-74:** Protuberanzbeiwerte zur Berechnung des Fahrzeug-Luftwiderstandes im Rahmen des von der US-EPA ehemals ab Modelljahr 1979 geplanten Berechnungsverfahrens für die Bremsbelastung des Fahrzeugrollenprüfstandes beim Abgas- und Kraftstoffverbrauchstest, nach [843].

Der Karosserie-Formfaktor wurde berechnet nach:

$$S = \sum_{i=1}^6 a_i \cdot s_i$$

(mit den Wichtungsfaktoren  $a_1, a_6 = 2$  und  $a_2, a_3, a_4, a_5 = 1$  und den Formbeiwerten  $s_1$  bis  $s_6$  gemäß Bild III. 5-73).

Der Protuberanzfaktor wurde berechnet nach:

$$P = \sum_{i=1}^7 b_i \cdot p_i$$

(mit den Wichtungsfaktoren:  $b_1 = 1.0$ ;  $b_2 = 0.2$ ;  $b_3 = 0.091$ ;  $b_4 = 0.215$ ;  $b_5$ ,  $b_6 = 0.250$ ;  $b_7 = 0.500$  und den Protuberanzbeiwerten  $p_1$  bis  $p_7$  gemäß Bild III. 5-74)

Nach dieser Methode ergab sich für einen Mercedes-Benz Typ 450 SEL eine Bremsbelastung von 15.5 hp ( $\approx 11.6$  kW). Dieser Wert widersprach erheblich den realistischen Bedingungen, wie ein Vergleich mit dem mittels Drehmoment-Methode gefundenen Wert von 10.9 hp ( $\approx 8.1$  kW) zeigt. Eine entsprechende Eingabe von Daimler-Benz an die Behörde wies auf diese Diskrepanzen hin und trug dazu bei, daß die vorgeschlagene Methode schließlich nicht zum Einsatz kam {844}.

Darüber hinaus gelang es, den obengenannten - per Drehmoment gefundenen - Wert (exakt 10.85 hp d. h.  $\approx 8.1$  kW) am 23.5.1979 bei der EPA zur Modelljahr 1979-Zertifizierung des 450 SEL genehmigt zu bekommen {845}.

#### 5.3.6.7 Berechnung der Bremsbelastung aus aerodynamischen Annahmen: Die "Frontflächen-Methode"

Die im vorigen Kapitel beschriebene "Formbeiwert-Methode" wurde ersetzt durch die "Frontflächen-Methode", die ab Modelljahr 1979 Gesetzeskraft erlangte. Während bei der in Kap. 5.3.6.4 genannten festen Zuordnung von Fahrzeugmasse und Bremsbelastung angenommen wurde, daß die Fahrzeugmasse ein indirektes Kennzeichen für den Luftwiderstand sei, stellt das hier genannte Verfahren direkt den Luftwiderstand (ohne Umweg über die Fahrzeugmasse) gemäß der bekannten Formel:

$$F = \frac{\rho}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

in Rechnung. Hierbei wird A aus der Projektion des Fahrzeuges auf eine senkrecht zur Fahrzeuglängsachse stehende Fläche ermittelt.

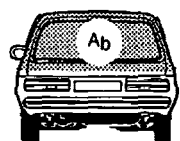
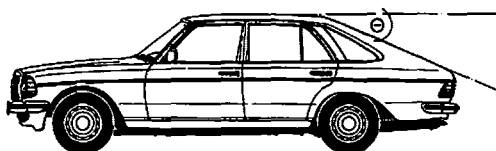
Die Luftwiderstandsleistung ( $P \sim F \cdot v$ ) wird bei Standardbedingungen für  $\rho$  und einer festen Bezugsgeschwindigkeit proportional dem Produkt aus Widerstandsbeiwert und Frontfläche:  $P \sim c_w \cdot A$ . Da  $c_w$  nicht generell gültig und nur kompliziert bestimmbar ist, wird allein auf die Bezugsfrontfläche als ein (aerodynamische Faktoren berücksichtigendes) Maß zurückgegriffen.

Die Beziehung  $P \sim c_w \cdot A$  zeigt, daß die vom Rollenprüfstand zu simulierende Leistung linear mit der Frontfläche des Fahrzeuges ansteigt. Aus einer Testflotte von 67 Fahr-

zeugen hat die US-EPA mittels der Modellgleichung  $P = a \cdot A$  und Herstellerdaten für die Bezugsfrontflächen durch lineare Regressionsrechnung die Beziehung  $P = 0.5 \cdot A$  (mit  $A$  in  $[\text{ft}^2]$  und  $P$  in  $[\text{hp}]$ ) hergeleitet. Die Formel gilt im gesetzlichen Einstellpunkt von 50 mph für Fahrzeuge mit Gürtelreifen auf dem üblichen (hier Clayton-) Doppelrollenprüfstand.

Beim Vergleich der "direkten" mit der "indirekten" aerodynamischen Berechnung des Fahrwiderstandes zeigt sich erwartungsgemäß, daß die Berechnung aus der Bezugsfrontfläche ("direkt") einen kleineren Standardfehler aufweist, als wenn über die Fahrzeugmasse ("indirekt") gerechnet wird [846].

Da die Fahrwiderstandsberechnung allein aus der Bezugsfrontfläche jedoch einen gleichen  $c_w$ -Wert für alle Fahrzeuge voraussetzt, wäre es theoretisch richtig, für jeden individuellen Fahrzeugtyp das für ihn richtige Produkt aus  $c_w \cdot A$  zu berücksichtigen. Eine zusätzliche Fahrzeug-Klasseneinteilung sollte daher die Fahrwiderstandsvorher-sage aufgrund der Fahrzeugfrontfläche verbessern. Die EPA wollte hierzu zwischen Fahr-



$\Theta < 25 \text{ grad}$   
 $A_b > 0,33 A$   
 $A$  = gesamte rückwärtige Projektionsfläche

zeugen mit "guter" und "schlechter" Karosseriefront- und Heckform unterteilen. Eine solche Beurteilung der Frontpartie ist sehr komplex, und der entsprechende Vorschlag im "Federal Register" vom September 1976 wurde - wie zuvor beschrieben - zurückgezogen. Lediglich eine Beurteilung des Fahrzeugheckteiles blieb als Grundlage der Klasseneinteilung bestehen, wobei zwischen "normal" und "Fließheck" unterschieden wird.

Unter die Fließheck-Klasse fallen aufgrund aerodynamischer Überlegungen Fahrzeuge, bei denen die geneigte Heckpartie sanft und gleichmäßig absinkt und frei

**Bild III.5-75:** Kriterien zur Einteilungsmöglichkeit eines Fahrzeugs in die „fastback“ (Fließheck)-Kategorie, nach [843].

von Übergängen ist, die  $> 4^\circ$  geneigt sind. Die Gesamtfläche muß unter einem Winkel von  $< 25^\circ$  gegenüber der Horizontalen abfallen, und die senkrechte Projektion dieser Fläche muß mindestens 25 % der gesamten Fahrzeugbezugsfläche umfassen. Diese Bewertung ist in Bild III. 5-75 dargestellt. Für Fließheck-Fahrzeuge wird die Vorherberechnung der einzustellenden Bremsbelastung nach der Formel:  $P = 0.43 \cdot A$  vorgeschrieben.

Das endgültige Gesetz zur Bremsbelastungsermittlung aufgrund der Fahrzeug-Frontfläche sah noch eine weitere Verbesserung des Verfahrens durch Zusammenbeurteilung der Einzelprotuberanzen, die zur Vereinfachung der Vorschriften in Klassen eingeteilt wurden, vor.

Für Protuberanzen kann nach [847] die Luftwiderstandskraft berechnet werden nach:

$$F_{\text{Prot}} = \frac{\rho}{2} \cdot 1,1 \cdot A_{\text{Prot}} \quad A_{\text{Prot}} = \text{Fläche der Protuberanz}$$

Damit wird bei Standardbedingungen ( $\rho = 1,16 \text{ kg/m}^3$ ) die Luftwiderstandsleistung:



$$P_{\text{Prot}} = 0.89 \cdot A_{\text{Prot}} \quad [\text{hp}] \quad \text{mit } A_{\text{Prot}} \quad [\text{ft}^2]$$

oder nach Anpassung der Formel auf die hier zur Diskussion stehenden kleinen Flächen:

$$P_{\text{Prot}} = 957 \cdot A_{\text{Prot}} \quad [\text{hp}] \quad \text{mit } A_{\text{Prot}} \quad [\text{cm}^2]$$

Protuberanzen	Luftwiderstandserhöhung $[\Delta H_P]$ nach Angaben von:			
	EPA	Chrysler	GM	Windkanal
Haubenornament	0.018 <sup>1)</sup>	0.15	—	—
Antenne	0.036 <sup>1)</sup>	0.1	—	—
Außenspiegel	0.112 <sup>1)</sup>	0.1 ... 0.3	—	—
Dachgepäckträger	0.184 <sup>1)</sup>	—	—	—
Dachgepäckträger (Kombi)	—	0.315	0.55 ... 1.0	0.33
Dachgepäckträger + hinterer Windabweiser (Kombi)	1.0 <sup>2)</sup>	—	—	0.8

1) berechnet mit Mittelwert der Protuberanzflächen aus mehreren Stichproben nach der Formel:  $W_{\text{Prot}} = 957 \cdot F_{\text{Prot}} \text{ [HP]} \text{ mit } F_{\text{Prot}} \text{ [cm}^2\text{]}$ . 2) Von EPA im Ausrollversuch ermittelt.

In Bild III. 5-76 ist am Beispiel von praktisch vorkommenden Protuberanzen deren Einfluß auf die Luftwiderstandsleistung verdeutlicht. Das Bild zeigt auch entsprechende von verschiedenen Automobilherstellern an die EPA eingereichte eigene Angaben zum Vergleich. Diese Werte zeigen, daß die Protuberanzen durch die Berechnung unterbewertet werden, da die Rechnung eine "saubere" Anströmung annimmt. Der dynamische Druck  $(\rho/2) \cdot v^2$  ist wahrscheinlich in der Praxis

**Bild III.5-76:** Erhöhung der Luftwiderstandsleistung durch Protuberanzen am Fahrzeug, nach [848].

z. B. durch mehrfache Verwirbelung an einem Dachgepäckträger größer als mit der Projektionsfläche allein berechnet.

Um Sicherheitsmaßnahmen wie z. B. einen zweiten Außenspiegel nicht zu "bestrafen", hat die EPA alle Protuberanzen  $< 0.3 \text{ ft}^2$  ( $\approx 280 \text{ cm}^2$ ) als vernachlässigbar eingestuft, d. h. es erfolgt bis zu diesem Wert kein Zuschlag zur Bremsbelastung (1 Spiegel + 1 Antenne ergeben etwa  $150 \text{ cm}^2$ , d. h.  $130 \text{ cm}^2$  bleiben noch als "Reserve" für einen zweiten oder zwei größere Außenspiegel. Damit wird die endgültig optimierte Gleichung zur Berechnung der einzustellenden Bremslast:

$$P = a \cdot A' + P_{\text{Prot}} \quad [\text{hp}]$$

$A'$  = Fahrzeugfrontfläche vermindert um Fläche der Protuberanzen

Dieses abermals verfeinerte Verfahren zeigt wiederum eine 10 %ige Verbesserung des Standardfehlers gegenüber der allein aus der Frontfläche errechneten Bremslast, womit sich jetzt eine 20 %ige Verbesserung des Standardfehlers zur ursprünglichen - rein fahrzeugmassenbezogenen Rechnung ergibt [849].

Die Formel bezieht sich auf Radialreifen, mit denen z. B. 75 % der Neufahrzeuge des US-Modelljahres 1976 ausgerüstet waren, und erhält bei Verwendung von Diagonalreifen noch einen fahrzeugmassenabhängigen Korrekturfaktor:

$$P = a \cdot A' + P_{\text{Prot}} + t \cdot G \quad [\text{hp}]$$

Die der vorletzten Formel zugrundeliegende Annahme, daß 2 Radialreifen auf einem Doppelrollenprüfstand den Roll- und Walkwiderstand von 4 Radialreifen auf der Straße simulieren, trifft bei größer werdendem Rollendurchmesser nicht mehr zu. So berücksichtigt die US-EPA bei Einzelrollenprüfständen von  $\approx 1,60 \text{ m}$  Durchmesser bereits einen zusätzlich zu simulierenden fahrzeugmassenabhängigen Rollwiderstandsanteil von

$(5 \cdot 10^{-4} + 0.33 \cdot t) \cdot G$  mit  $t = 0$  für Radial- und  $t = 3 \cdot 10^{-4}$  für Diagonalreifen. Bei Übergang auf unendlichen Rollendurchmesser (Stahlband, Straße) wäre der volle Rollwiderstand der nicht getriebenen Räder in die Bremsbelastung einzubeziehen {850}.

Da also der zu berücksichtigende Rollwiderstandsanteil abhängig vom Rollendurchmesser der Prüfstände und dieser Durchmesser nicht bei allen Prüfständen gleich ist, bringt die EPA-Berechnungsformel schon aus dieser Sicht Ungenauigkeiten. Die US-EPA hat es daher den Automobilherstellern freigestellt, Alternativverfahren zur Ermittlung der auf Rollenprüfständen für Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests einzustellenden Bremslasten zu erproben und zur Genehmigung einzureichen.

Als praktische Alternative bieten sich die im folgenden beschriebenen Verfahren des Ausrollversuches und der Drehmomentmessung im Fahrzeugantriebsstrang an.

#### 5.3.6.8 Berechnung der Bremsbelastung aus einem Fahrzeug-Ausrollversuch

Zur Bremslastbestimmung für Fahrzeugrollenprüfstände im Rahmen von Zertifikations-tests (Abgas und Kraftstoffverbrauch) wird von der US-EPA ein Auswerteverfahren des Ausrollversuches vorgeschlagen, dessen Prinzip kurz aufgezeigt werden soll. Die kompletten Ausführungsbestimmungen des Tests und besonders die bei Beantragung der Anerkennung eines nach diesem Verfahren ermittelten Wertes als Randbedingungen zu erfüllenden Auflagen sind sehr umfangreich und können in {851} nachgelesen werden.

Das von der EPA vorgeschlagene Verfahren geht zurück auf die in {852} ausgearbeiteten Unterlagen. Aus den Meßdaten des Ausrollversuches (Geschwindigkeit als Funktion der Zeit) soll die Beschleunigung als Funktion der Geschwindigkeit (und damit nach dem Newton'schen Axiom  $F = m \cdot b$  die in jedem Zeitpunkt des Versuches am Fahrzeug angreifende Kräftesumme) erhalten werden. Hierzu wird eine Modellgleichung für  $b = f(v)$  angenommen und diese Gleichung analytisch so behandelt, daß man eine Funktion für  $v = f(t)$  erhält. Diese Gleichung wird dann direkt der gemessenen Abhängigkeit  $v = f(t)$  angepaßt.

Zunächst wird also ein Polynom für  $b = f(v)$  gesucht. Unter idealen (windstillen) Bedingungen gilt nach {853} (unter Anpassung einiger Formelzeichen an üblichere Schreibweisen):

$$\frac{dv}{dt} = - (a_0 + a_2 v^2) \quad (1)$$

Hierbei bedeuten:  $dv/dt$  = Beschleunigung;  $a_0$  = Koeffizient des Rollwiderstandes;  $a_2$  = Koeffizient des Luftwiderstandes;  $v$  = Fahrzeuggeschwindigkeit.

Bei Vorhandensein von Wind lautet Gleichung (1):

$$\frac{dv}{dt} = a_0 + a_2 (v - \underline{s} \cdot \underline{w})^2 \quad (2)$$

(wobei  $\underline{s}$  = Einheitsvektor in Fahrtrichtung und  $\underline{w}$  = Windgeschwindigkeits-Vektor bedeuten).

In dieser Betrachtung wird nur die in Fahrtrichtung wirkende Windkomponente beachtet.

Liegen auch noch Fahrbahneigungen vor, so wird aus Gleichung (2):

$$\frac{dv}{dt} = -a_0 + g(\delta \cdot s) + a_2(v - s \cdot w)^2 \quad (3)$$

(mit  $\delta$  = Vektor in Bahnsteigungsrichtung mit der Größe der Fahrbahnsteigung)

Gleichung (3) wird nach Umformen:

$$\frac{dv}{dt} = - \left\{ [a_0 + a_2(w \cdot s)^2 + g(\delta \cdot s)] - 2a_2(w \cdot s)v + a_2v^2 \right\} \quad (4)$$

Nach Variablentrennung und Integration ergeben sich Funktionen, die in Ausdrücke für  $v_{Fzg.} = f(t)$  umgewandelt werden können. Details dieser Prozedur können [853] entnommen werden. Als Ausdruck für die Ausrollgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit ergibt sich schließlich:

$$v = \left\{ \left( \frac{B}{a_2} \right) \tan [B(C - t)] \right\} + (w \cdot s) \quad (5)$$

(wobei  $B^2 = a_2[a_0 + g(\delta \cdot s)]$  und der Bedingung:  $B^2 > 0$ , sowie  $C$  = Integrationskonstante, abhängig von den Anfangsbedingungen =  $(1/B) \tan^{-1} \{ [a_2v_0 - a_2(w \cdot s)]/B \}$  und  $v_0$  = Anfangsgeschwindigkeit).

Gleichung (5) wird den Ausrolldaten mittels einer "Kleinste Fehler-Methode" angepaßt, um die Koeffizienten  $a_0$  und  $a_2$  zu erhalten. Dann kann der Gesamtfahrwiderstand nach  $F = m \cdot b$  berechnet werden:

$$F = m(a_0 + a_2v^2) \quad (6)$$

Unter Verwendung von Koeffizienten für die Kräfte wird aus (6):

$$F = F_0 + F_2v^2 \quad (7)$$

(mit  $F_0 = m \cdot a_0$  und  $F_2 = m \cdot a_2$ )

Schließlich werden zur Standardisierung noch die den Rollwiderstand repräsentierende Kraft  $F_0$  zu  $F_0^*$  temperatur-korrigiert und die den Luftwiderstand repräsentierende Kraft  $F_2$  zu  $F_2^*$  temperatur- und druck-korrigiert: Mit dem so auf Normalbedingungen umgerechneten Fahrwiderstand wird dann die sogenannte "target coast down time" ( $\Delta t$ ) für die Kombination von Fahrzeug und Rollenprüfstand berechnet und die Bremsbelastung des Prüfstandes im 50 mph-Punkt so lange verändert, bis dieses  $\Delta t$  beim Ausrollversuch von 55 auf 45 mph (Fahrzeug auf Rolle) erreicht wird.

Die entsprechende Formel lautet mit  $dv/dt = -F^*/m_D$  oder  $dv/dt = -(F_0^* + F_2^*v^2)/m_D$ :

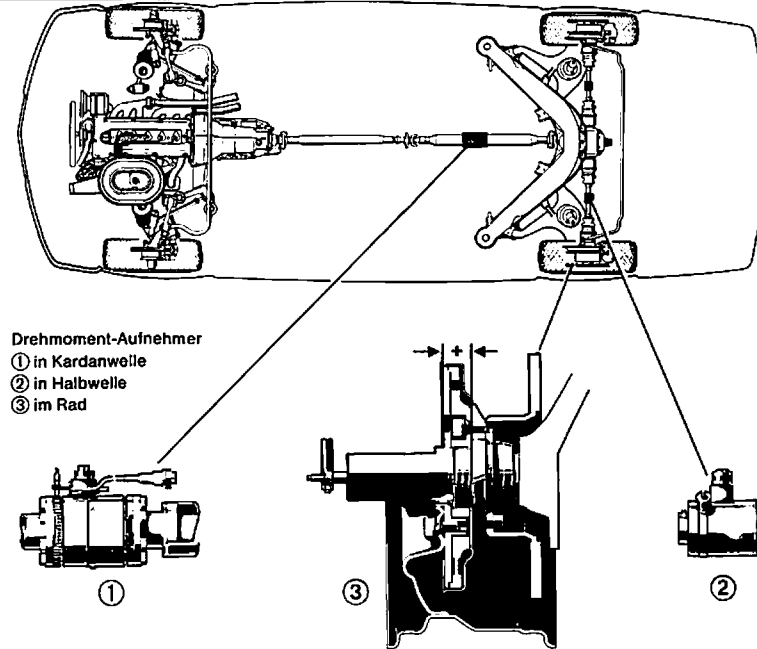
$$\Delta t = \frac{m_D}{F_0^* \cdot F_2^*} \left[ \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{F_2^*}{F_0^*}} \cdot v_1 \right) - \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{F_2^*}{F_0^*}} \cdot v_2 \right) \right] \quad (8)$$

[mit:  $\Delta t$  = "target coast down time" von  $t_1 = 55$  mph ( $\approx 88$  km/h) auf  $t_2 = 45$  mph ( $\approx 72$  km/h),  $M_D$  = gesamte effektive Masse des Fahrzeug/Rollenprüfstand-Systems (=  $M_I + 2M_e$  mit  $M_I$  = Schwungmasse des Fahrzeugrollenprüfstandes und  $M_e$  = effektive Masse eines Antriebrades, wobei auch angesetzt werden kann:  $M_D = M_I + 0.018 M_{\text{Fahrzeug}}$ , wenn die effektive Radmasse unbekannt ist);  $F_0^*$  = temperatur-korrigierter Rollwiderstand;  $F_2^*$  = temperatur- und druck-korrigierter Luftwiderstand].

Die "target coast down time" ( $\Delta t$ ) ist unabhängig von der Rollenprüfstandsgeometrie. Sie wird der EPA vom Hersteller für seine Testfahrzeuge gemeldet und von der Behörde im eigenen Labor zur Bremslasteinstellung verwendet. Weicht die mit diesem  $\Delta t$  erzielte Bremsbelastung von gewissen Erfahrungswerten ab, fordert die EPA ein Fahrzeug zur Durchführung eines eigenen Ausrollversuches und Nachrechnung des  $\Delta t$  an.

#### 5.3.6.9 Direkte Bestimmung der Bremsbelastung durch Messung des realen Fahrwiderstandes auf der Straße mittels Drehmoment-Aufnehmern im Fahrzeug-Antrieb

Im Hause Daimler-Benz wurde zur direkten Messung des Fahrwiderstandes auf der Straße und zur Übertragung der so gefundenen Widerstandsverhältnisse auf den Fahrzeug-Rollenprüfstand ein Drehmomentmeßverfahren entwickelt. Bild III.5-77 zeigt die drei Stufen, die bei dieser Entwicklung durchlaufen wurden:



Drehmoment-Aufnehmer  
① in Kardanwelle  
② in Halbwelle  
③ im Rad

- Messung in der Kardanwelle (1)
- Messung in den Antriebswellen (2)
- Messung in den Antriebsrädern (3)

**Bild III. 5-77:** Drei Entwicklungsstufen der von Daimler-Benz eingesetzten Drehmoment-Meßmethoden im Antriebsstrang des Fahrzeugs.

#### 5.3.6.9.1 Drehmomentmessung in der Kardanwelle oder in den Antriebswellen

In der ersten Entwicklungsstufe erfolgte die Fahrwiderstandsaufnahme mit einer dehnmeßstreifenbestückten Kardanwelle und schleifringlosem Übertrager. Wegen der mit dieser Versuchsanordnung verbundenen Nachteile, wie z.B.:

- Nullpunktsdrift wegen hohen Nennmomentes der Welle
- Nullpunktsinkonstanz bei Verwendung von automatischen Getrieben (bei eingelegtem Gang in Leerlaufphasen wird der  $M_0$ -Nullpunkt von der Motor-Leerlaufdrehzahl beeinflusst)
- Meßungenauigkeiten durch nachgeschaltetes Differential (unterschiedliche Temperaturbedingungen bei Vergleichstests)
- Temperatureinflüsse durch nahegelegene Auspuffanlage

wurde dieses Prinzip jedoch bald verlassen und der Drehmomentmeßort so nahe wie möglich an die Kraftübertragungsstelle zwischen Rad und Fahrbahn gelegt.

Auf die Messung in den Antriebshalbwellen soll an dieser Stelle nicht separat eingegangen werden, da sie nur einen Zwischenschritt auf dem Weg zur praktisch direktest

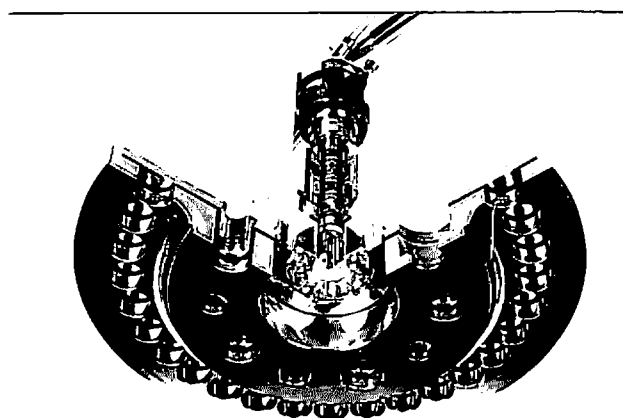
möglichen Messung der auf die Fahrbahn übertragenen Kräfte nämlich in den Antriebsrädern, darstellt.

#### 5.3.6.9.2 Drehmomentmessung in den Antriebsrädern

Folgende Forderungen lagen hierbei der Entwicklung einer Drehmomentmeßeinrichtung zur Erfassung der Momente in den Antriebsrädern zugrunde [854]:

Zunächst galt es, eine gute Auflösung von kleinen Drehmomentwerten zu realisieren. Weiterhin sollte eine an die Nabe eines Fahrzeugrades anzubauende Drehmomentmeßeinrichtung in der Lage sein, die auf das betreffende Rad entfallende relativ große Achslast sowie die bei Kurvenfahrt auftretenden Seitenkräfte ohne weiteres aufzufangen. Hierbei durften keine Drehmomentnebenschlüsse über etwaige Stützlager oder dergleichen entstehen. Die teilweise recht stark schwankende axiale und radiale Belastung der Drehmomentmeßeinrichtung durfte das Drehmomentergebnis nicht beeinflussen. Außerdem sollte die Meßeinrichtung montagefreundlich und die Verwendung von Standardfelgen möglich sein. Aus diesen Forderungen ergab sich eine Neukonstruktion, bei der das zu erfassende Drehmoment über die Durchbiegung von Bohrungsstegen mittels Dehnmeßstreifen erfaßt wird.

#### 5.3.6.9.3 Aufbau der Mercedes-Benz Drehmoment-Meßscheibe in den Fahrzeug-Antriebsrädern

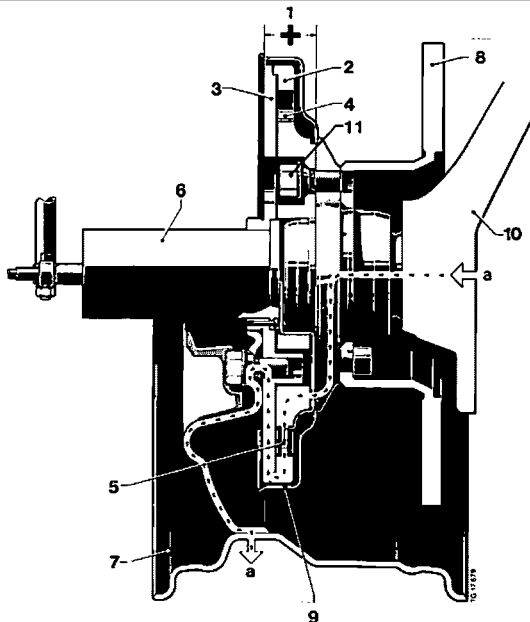


**Bild III.5-78:** Schnittmodell der Mercedes-Benz Drehmoment-Meßscheibe mit induktivem Übertrager zur Erfassung der vom Fahrzeugrad auf Fahrbahn oder Rollenprüfstand übertragenen Kräfte, [855]

Das in Bild III. 5-78 gezeigte Drehmoment-Meßglied wurde auf ein Nennmoment von 500 Nm ausgelegt, seine Masse beträgt 8.4 kg. Die Drehmomentscheibe selbst besteht - wie Bild III. 5-79 zeigt - aus zwei scheibenförmigen Körpern, die am Außenumfang durch eine Schweißnaht miteinander verbunden sind. Die eigentliche Meßscheibe (2) mit den Meßstegen ist mit dem Radflansch mittels eines Schraubenkranzes (11) verschraubt. Die andere Scheibe (3) dient zur Rückführung des Kraftflusses (a - a) von einer radial relativ

weit außenliegenden Stelle an die radiale Stelle der Befestigung der Radschlüssel (11) an die Meßscheibe. Aufgrund dieser Kraftflußrückführung ist es möglich, ohne Sonderfelgen Drehmomentmessungen am Fahrzeugrad vorzunehmen. Da die zwischengeschaltete Drehmomentscheibe in Axialrichtung relativ schmal ist, wird die Spurbreite des Fahrzeugs nur unwesentlich verändert (2 x 18 mm). Durch Anbau eines Adapters mit entsprechendem Lochkreisdurchmesser kann die Meßscheibe auch an Fahrzeugen anderer Hersteller verwendet werden.

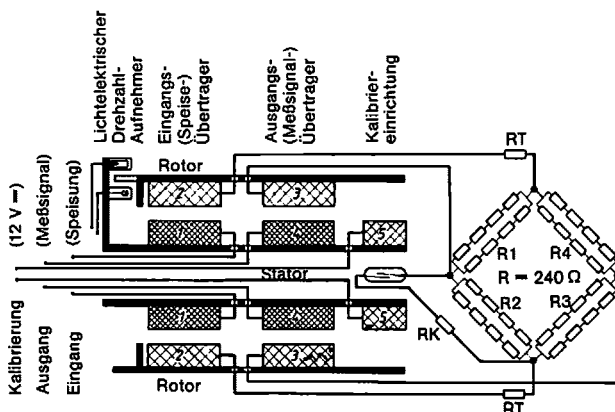
Der äußere Bohrungskranz der Meßscheibe bildet die eigentliche Dehnungsstrecke. Die



- 1 Spurverbreiterung durch Einbau der Meßscheibe
- 2 Antriebsseite } der Meßscheibe
- 3 Felgenseite }
- 4 Lochkreis mit 32 Bohrungen und 32 Biegestegen (16 Meßstege)
- 5 Meßsteg mit Dehnmeßstreifen
- 6 induktiver Drehüberträger
- 7 Standard-Felge
- 8 Bremsscheibe
- 9 Schutzgehäuse
- 10 Radaufhängung
- a-a Kraftfluß

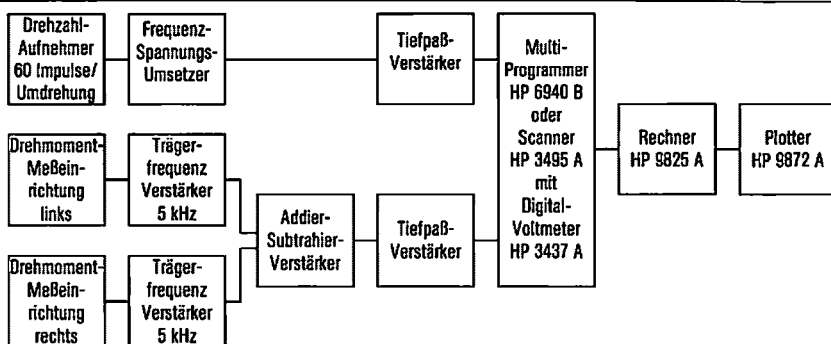
**Bild III.5-79:** Aufbau und Montage der von Daimler-Benz entwickelten Drehmoment-Meßscheibe, [856].

zwischen diesen Bohrungen verbleibenden Stege haben definierte Abmessungen und definierte Oberflächenbeschaffenheit. Der Querschnitt dieser Stege ist in Axialrichtung wesentlich größer als in Umfangsrichtung. Dadurch sind die Stege in der Lage, radiale und axiale Beanspruchungen aufzufangen. Hingegen sind die Stege in Umfangsrichtung relativ weich. Jeder zweite dieser Stege, ein sogenannter Meßsteg, ist beidseitig mit Dehnmeßstreifen beklebt, welche auf beiden Seiten der Meßstege an einer Stelle höchster Beanspruchung angebracht sind. Wie Bild III. 5-80 zeigt, sind sämtliche Dehnmeßstreifen elektrisch zu einer Vollbrücke zusammengeschaltet, deren Zuführungsanschlüsse durch eine Nut zu dem induktiven Drehüberträger führen.



**Bild III.5-80:** Aufbau des induktiven Übertragers mit Kalibrier-einrichtung in der Mercedes-Benz Drehmoment-Meßscheibe für das Fahrzeugrad, [856].

Die Meßstege werden zwar auch durch horizontale und vertikale achsenkrechte Kräfte beansprucht. Diese Beanspruchung wirkt sich entsprechend auf die aufgeklebten Dehnmeßstreifen aus. Durch eine geeignete Anordnung der Dehnmeßstreifen innerhalb des elektrischen Brückenkreises, werden die unerwünschten Einflüsse weitgehend eliminiert, so daß nur die drehmomentbedingten Beanspruchungen der Dehnmeßstreifen nach außen hin angezeigt werden. Die große Anzahl gleichmäßig am Umfang ver-



**Bild III.5-81:** Aufbau des Meßsystems zur Erfassung und Weiterverarbeitung der von den Fahrzeuigrädern auf Straße oder Rollenprüfstand übertragenen Kräfte, [857].

teilter Meßstege ist erforderlich, um den Einfluß der Radlast vernachlässigbar klein zu halten.

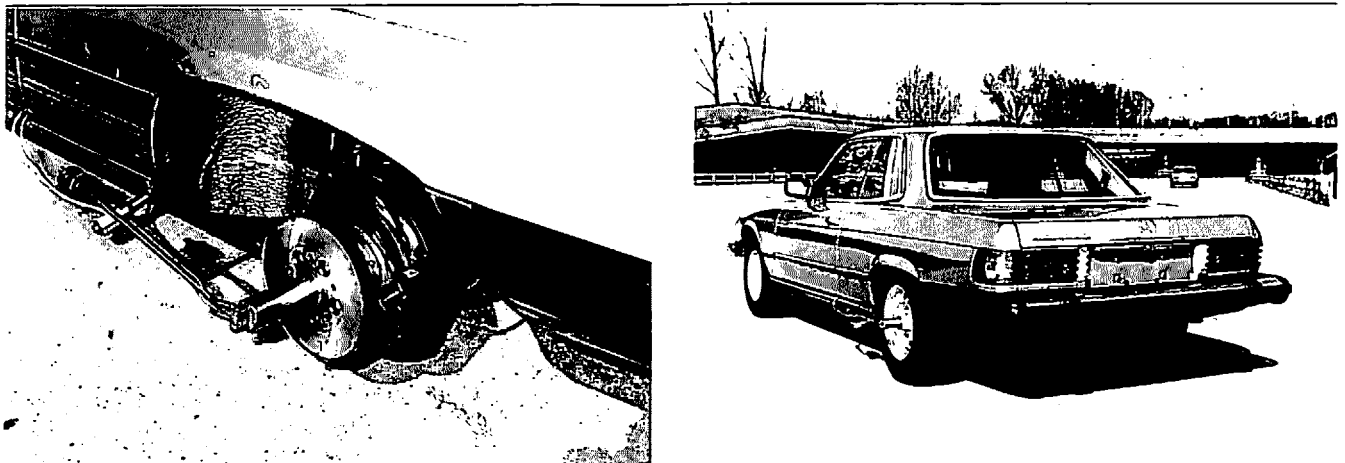
Die Meßwerte werden von der rotierenden Scheibe mittels eines induktiven Drehübertragers auf einen stillstehenden Flansch (Stator, siehe Bild III. 5-80) übertragen. Innerhalb des Drehübertragers ist

ein elektromechanischer Kalibrierschalter (Reed-Kontakt) untergebracht, so daß jederzeit die der Drehmomentmeßeinrichtung nachgeschaltete Meßkette einkalibriert werden kann. Weiterhin ist in dem Übertragergehäuse ein lichtelektrischer Drehzahlnehmer eingebaut, welcher 60 Impulse pro Radumdrehung liefert.

Die aus den beiden Antriebsrädern kommenden Drehmomentmeßsignale werden, wie Bild III. 5-81 zeigt, mit Hilfe von Trägerfrequenzverstärkern verstärkt und in einem Addier-Subtrahierverstärker zu einem Gesamtmoment addiert, das über einen Tiefpaß auf den Eingang eines Multiprogrammers gelangt. Die Raddrehzahlimpulse aus dem in die Meßscheibe integrierten Übertrager gelangen über einen Frequenz-Spannungs-Umsetzer mit nachgeschaltetem Tiefpaß ebenfalls auf den Eingang des Multiprogrammers. Dieser wird von einem Rechner angesteuert, der auch die weitere Verarbeitung der Meßwerte übernimmt und die Ergebnisse an einen nachgeschalteten Plotter zur Aufzeichnung weitergibt. Die gesamte Anlage arbeitet im "on bord"-Betrieb, d. h. von externer Stromversorgung unabhängig.

#### 5.3.6.9.4 Stationäre Versuche mittels Drehmoment-Meßeinrichtung in den Fahrzeug-Antriebsrädern

Zur Ermittlung des später vom Rollenprüfstand zu simulierenden Lastzustandes wird auf geeigneter Fahrbahn in konstanten Geschwindigkeitspunkten (wenn irgend möglich bei



**Bild III.5-82:** Anbau der von Daimler-Benz entwickelten Drehmoment-Meßscheibe am Fahrzeug (zwischen Bremsscheibe und Felge; Montage einfach wie Radwechsel; serienmäßige Felge; keine Beeinflussung des Fahrzeug-Luftwiderstandes; durch den im Übertrager integrierten Signalgeber für Fahrzeuggeschwindigkeit kann 5. Rad bei Messungen entfallen), [855].

Windstille) das mittlere Drehmoment aus beiden Antriebsrädern aufgezeichnet. In Bild III. 5-82 ist der Einbau der Meßnabe am Fahrzeug gezeigt. Dieser ist einerseits so schnell und einfach möglich wie ein Radwechsel, darüber hinaus wird deutlich, daß weder Meßglied noch Übertrager den Luftwiderstand des Fahrzeuges beeinflussen. Dies wurde in Windkanalversuchen nachgewiesen. Ergänzend sei an dieser Stelle erwähnt, daß die in der Meßscheibe integrierte Geschwindigkeitsaufnahme die Verwendung eines "5. Rades" überflüssig macht. Ausgedehnte Versuche haben gezeigt, daß die Geschwindigkeitsanzeige von den getriebenen Rädern eines Fahrzeuges mit der Anzeige des "5. Rades" praktisch identisch ist (das "Aufgehen" des Reifens und damit die Vergrößerung des dynamischen Halbmessers  $r_{dyn}$  mit steigender Geschwindigkeit wird

offenbar durch den mit zunehmender Geschwindigkeit ebenfalls größer werdenden Schlupf kompensiert).

Die mit der obengenannten Ausrüstung ermittelten - auf Standardbedingungen korrigierten - Drehmomentwerte der Fahrwiderstandskurve brauchen nur noch auf dem Rollenprüfstand reproduziert, die hierbei angezeigte Bremsbelastung im gesetzlich vorgeschriebenen Einstellpunkt abgelesen und - um die Reibleistung des betreffenden Prüfstandes erhöht - als sogenannte "total absorbed road load" an die Behörde zur Zertifizierung gemeldet zu werden. Im Behördenlabor wird die Reibleistung des zur Nachmessung vorgesehenen Prüfstandes vom eingereichten Wert abgezogen, womit die einzustellende Bremslast für den Behördenprüfstand gefunden ist, ohne daß das Meßfahrzeug selbst anwesend zu sein braucht. Dieses einfache Verfahren gilt jedoch nur dann, wenn im Testlabor des Automobilherstellers und der Behörde Prüfstände gleicher Geometrie verwendet werden (wie es zwischen den meisten Herstellern und der US-EPA zutrifft). Liegen Prüfstände verschiedener Abmessungen vor (Rollendurchmesser, Rollenabstand), dann kann nur mittels eines Drehmomentfahrzeuges oder über die in Kap. 5.3.6.8 behandelte "target coast down time" {853} (für die Einheit von Fahrzeug und Rollenprüfstand gültig) eine gleiche Belastung für das Fahrzeug in beiden Labors realisiert werden.

Bei der Erfassung von Fahrwiderstandskurven (zusammengesetzt aus Messungen bei konstanten Geschwindigkeiten) auf der Straße oder auf dem Rollenprüfstand und bei der gleichzeitig ablaufenden Auswertung im Rechner ist vor allen Dingen die Definition des Konstantfahrzustandes wichtig. Er wurde so festgelegt, daß dabei sowohl die Fahrgeschwindigkeit als auch das Summendrehmoment nicht über eine gewisse Schwankungsbreite (gewünschte Qualität vorgeben!) gehen dürfen, und daß bei beiden Vorgängen eine steigende oder fallende Tendenz ebenfalls nur bis zu einem Grenzwert hin zulässig ist. Beide Grenzen werden nach Erfahrungswerten festgelegt. Dieses Verfahren garantiert eine stets gleichbleibende Qualität des Meßvorganges.

Die maximale Schwankungsbreite der Fahrgeschwindigkeit wurde bei Straßenfahrten bei den von Daimler-Benz bisher durchgeführten Messungen auf  $\pm 0,2$  km/h, die des Summenmoments auf  $\pm 7,5$  Nm eingestellt. Bei letzterem wurde zusätzlich nach kleineren Geschwindigkeiten hin eine Erweiterung des Schwankungsbereiches einprogrammiert. Die maximal zulässige Drift wurde für die Fahrgeschwindigkeit auf 0,05 km/h, für das Drehmoment auf 1 Nm (jeweils auf eine Zeitdauer von 8 Sekunden bezogen) begrenzt. Beim Fahren auf dem Rollenprüfstand können diese Grenzen noch enger gezogen werden.

Bei der Messung tastet der Rechner die Meßvorgänge ab und schiebt die gefundenen Momentanwerte der Fahrgeschwindigkeit und des Drehmomentes in je einen vorprogrammierten Schiebespeicher. Bei jedem neu eingelesenen Datenpaar wird dann geprüft, ob die vorgegebenen Grenzbedingungen für den gesamten Speicherinhalt eingehalten werden. Falls dies nicht der Fall ist, wird bei der nächsten Abfrage das am längsten in den Speicher stehende Datenpaar von den neu abgefragten Werten überschrieben und die



Prüfroutine erneut gestartet. Sobald alle gesetzten Bedingungen eingehalten werden, d. h. der geforderte Konstantfahrzustand erreicht ist, werden für die in den Schiebespeichern stehenden Geschwindigkeits- und Drehmomentdaten die Mittelwerte  $\bar{v}$  und  $\bar{M}$  sowie die Standardabweichungen  $s_v$  und  $s_M$  berechnet und in die Ergebnisspeicher übernommen. Die Schiebespeicher werden dann gelöscht und ein neuer Suchlauf beginnt.

In der Praxis hat es sich bewährt, die Suche nach Konstantfahrpunkten erst oberhalb 5 km/h beginnen zu lassen, und während der Messung die Möglichkeit zur vorübergehenden Unterbrechung des Suchlaufes zu haben. Die Konstantfahrpunkte können auf der Straße in beliebiger Reihenfolge angefahren werden. Wenn genügend Auswertepunkte über den gesamten Geschwindigkeitsbereich aufgenommen sind, wird durch Tastendruck vom Rechner aus der Suchlauf beendet und das Programm auf Rechnung umgestellt. Es ermittelt dann nach der Gauss'schen Methode der kleinsten quadratischen Fehler die Ausgleichskurve durch die Auswertepunkte mit

$$M = a \cdot v^b + c \cdot v + d$$

und zusätzlich bei Bedarf mit

$$M = a \cdot v^2 + c \cdot v + d$$

Der Rechner druckt die Koeffizienten dieser Gleichungen zusammen mit den jeweiligen mittleren quadratischen Fehlern aus.

Auf dem Plotter können dann die gefundenen Konstantfahrpunkte zusammen mit der ausgeplotteten Funktion und den von Hand eingegebenen Versuchsbedingungen aufgezeichnet werden. Auf Wunsch werden außerdem die numerischen Daten der einzelnen Auswertepunkte ( $\bar{v}$  und  $\bar{M}$ ) zusammen mit den oben erwähnten Standardabweichungen durch den Printer des Rechners ausgedruckt.

Weiterhin können die Mittelwerte verschiedener Konstantfahrkurven (z. B. 5mal Nord → Süd- und 5mal Süd → Nord-Fahrt auf einer Teststrecke) durch Eingabe der obengenannten mathematischen Funktionen mit einem weiteren Programm schnell gefunden werden. Ebenso ist es möglich, über die Eingabe der Fahrbahnsteigung, des Luftdruckes und der Lufttemperatur die gefundenen Konstantfahrkurven auf ebene Fahrbahn und Normalatmosphäre zu korrigieren. Hierzu wäre die Kenntnis des  $c_w$ -Wertes des Meßfahrzeuges erforderlich, falls keine rein quadratische Abhängigkeit des Fahrwiderstandes zugrundegelegt wird.

In Bild III. 5-83 ist im 4. Quadranten ein Beispiel einer auf der Straße nach dem obengenannten Verfahren ermittelten Fahrwiderstandskurve gezeigt, die übrigen 3 Quadranten veranschaulichen die Bedeutung einer exakten Definition des Zustandes  $v = \text{const}$ , d. h. desjenigen Zustandes, bei dem die Meßpunkte aufgenommen werden. Durch Eingabe der maximal zulässigen Driftgrenzen für  $v = f(t)$  in den Bordrechner kann vollautomatisch eine jederzeit leicht reproduzierbare Fahrwiderstandskennlinie gefunden werden.

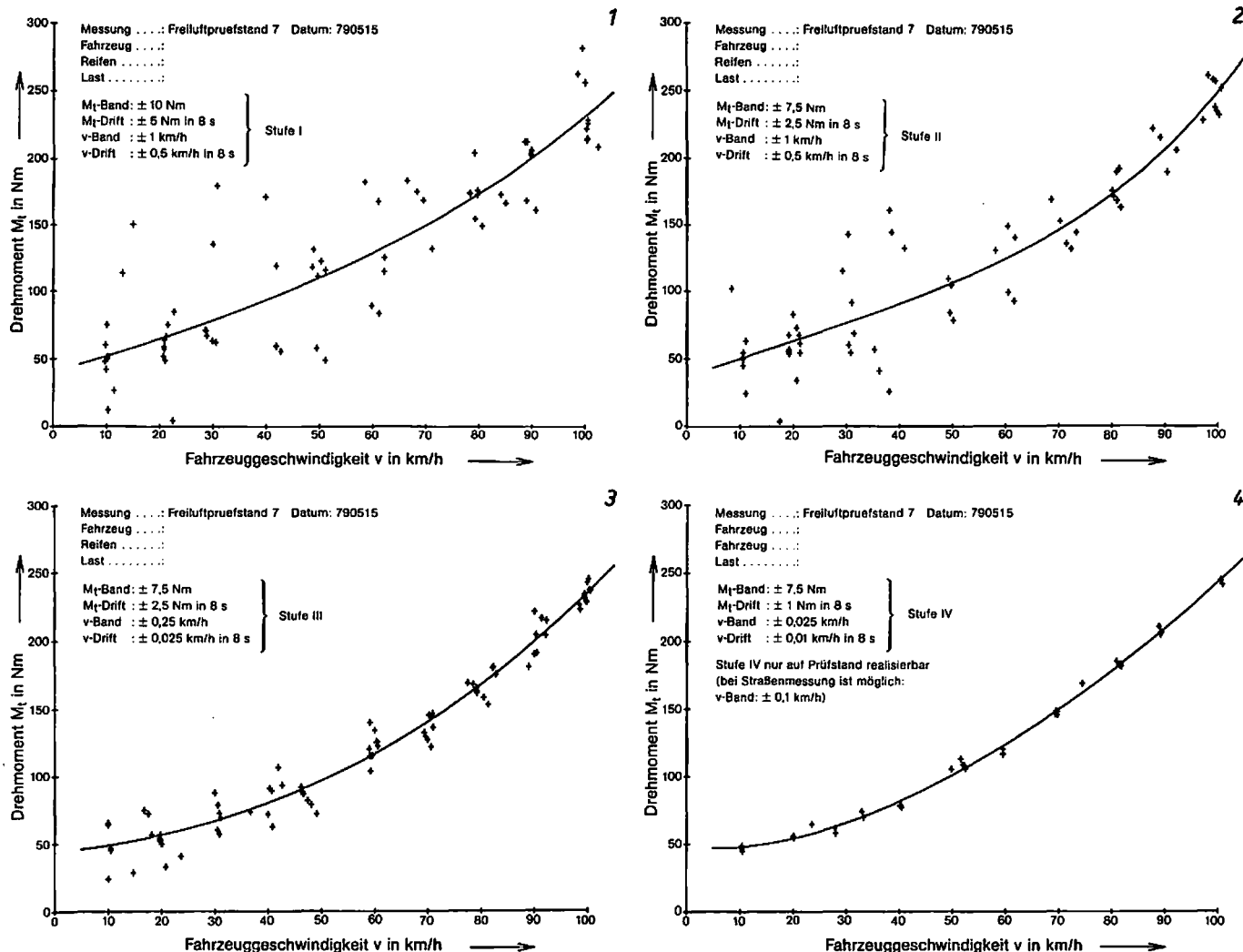


Bild III.5-83: Darstellung des Einflusses vorgegebener Qualitätskriterien für den „Konstantfahrzustand“ bei der abschnittswise Ermittlung der Fahrwiderstandscharakteristik eines PKW (Vorgabe einer zulässigen Bandbreite für die Geschwindigkeit und das Antriebsrad-Drehmoment, sowie die zeitliche Veränderung dieser beiden Größen).

#### 5.3.6.9.5 Instationäre Versuche mittels Drehmoment-Meßeinrichtung in den Fahrzeug-Antriebsrädern

Die Übertragung der Straßenverhältnisse in Stationärpunkten allein genügt zwar zur Festlegung der Bremslast im gesetzlich vorgegebenen Einstellpunkt, sie sagt jedoch nichts über eventuelle Unterschiede bei dynamischem Fahren auf Straße und Rollenprüfstand aus. Da Abgas- und Kraftstoffverbrauchstestergebnisse jedoch wesentlich von den Belastungen des Motors bei instationärem Fahrbetrieb abhängig sind, wurde das Drehmomentmeßverfahren auch zur Beurteilung der Energieaufnahme während dynamischen Fahrbetriebs eingesetzt. Hierbei erfolgte die Beurteilung der Energieaufnahme über das in einem Fahrzyklus aufgewendete mittlere Drehmoment.

Das mittlere Drehmoment wird hierbei als Integral des zeitlichen Drehmomentverlaufes über z. B. den 505 s - Abschnitt des US-Fahrzyklus (LA-4) ermittelt:

$$\bar{M} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} M(t) dt$$

(mit  $M(t) > 0$  und  $v \neq 0$ ).

Ein Prüfstandsabgleich erfolgt dann in zwei Schritten:

a) Stationärer Teil der Einstellung:

Angleich der  $M_t$ -Werte von Straße und Prüfstand in konstanten Geschwindigkeitspunkten durch Einstellung der Bremsenheit des Prüfstandes

b) Dynamischer Teil der Einstellung:

Angleich der  $\bar{M}$ -Werte von Straße und Prüfstand in einem definierten instationären Fahrprogramm durch Variation der Schwungmassen (-simulation)

Der physikalische Hintergrund für die Einstellung nach b) ist in {858} detailliert hergeleitet.

Durch den Vergleich des mittleren Drehmomentes während eines Fahrzyklus auf der Straße und auf dem Dynamometer (oder während charakteristischer Phasen instationären Fahrbetriebes) können Aussagen über die jeweilige Motorbelastung gemacht werden. Mehr als den gefundenen Unterschied zu konstatieren ist jedoch normalerweise nicht möglich, da die meist verwendeten Wasserwirbel- oder Wirbelstrombremsen nur die Anpassung eines Betriebspunktes an die realen Straßenverhältnisse zulassen.

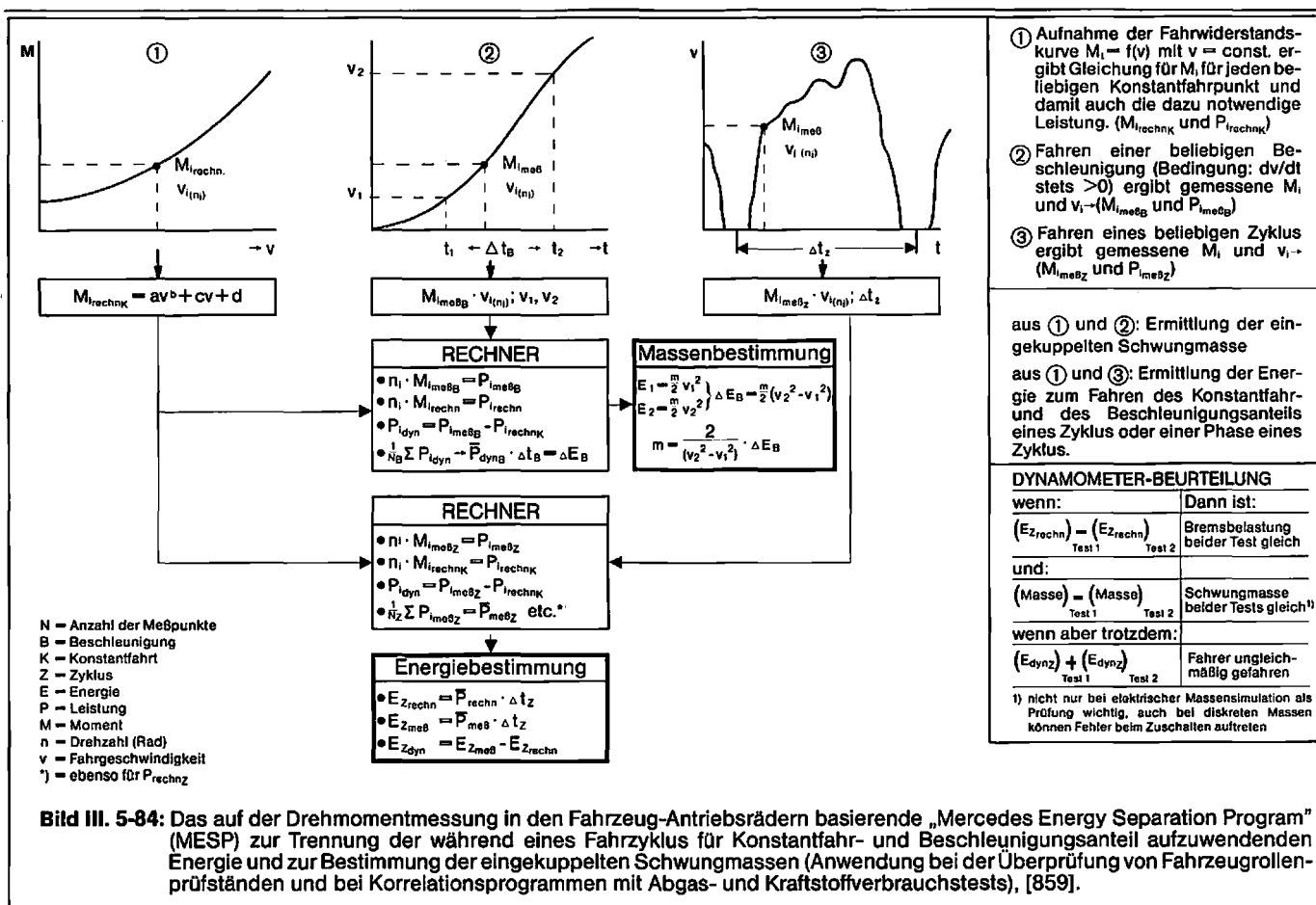
Hier sind Gleichstrommaschinen mit exakter Anpassungsmöglichkeit der gesamten Fahrwiderstandskennlinie von Vorteil.

Andererseits erlaubt die Aufnahme des über einen Fahrzyklus integrierten mittleren Drehmomentes den Vergleich verschiedener Dynamometer untereinander sowie die Überprüfung ein und desselben Dynamometers, was z. B. im Falle von plötzlich auftretenden unerklärlichen Abweichungen im Abgas- oder Kraftstoffverbrauchstestergebnis eines Motors von Bedeutung ist. Das Dynamometer kann durch den über das mittlere Drehmoment möglichen Vergleich als Verursacher einer solchen Meßwertstreuung lokalisiert oder ausgeklammert werden.

#### 5.3.6.9.6 Das "Mercedes Energy Separation Program" (MESP)

Eine gegenüber dem zuvor beschriebenen Vergleich des mittleren Drehmomentes verfeinerte Anwendung des Drehmomentverfahrens ist die Aufteilung der während eines Fahrzyklus vom Fahrzeug aufgewendeten Gesamtenergie in denjenigen Anteil, der nur zum Fahren der Konstantgeschwindigkeiten und denjenigen, der zum Fahren der Beschleunigungen erforderlich war. Dieses sogenannte "Mercedes Energy Separation Program" (MESP) wurde bei Daimler-Benz entwickelt {859} und hat sich bereits praktisch bewährt.

In Bild III. 5-84 ist das Verfahren veranschaulicht. Es erlaubt als Zwischenschritt auch die Kontrolle der eingekuppelten Schwungmasse. Dies ist besonders bei elektrischer Massensimulation von Vorteil, aber auch bei diskreten Massen treten in der Praxis bisweilen Fehler auf (falsche Schwungmasse eingekuppelt, z. B. möglich bei zeitlich versetzt und/oder in verschiedenen Labors durchgeführten Tests). Hierzu werden während einer mit der Bedingung  $dv/dt \text{ stets } > 0$  gefahrenen Beschleunigung ② ein Drehmomentwert ( $M_{\text{meß}}$ ) und die dazugehörige Geschwindigkeit ( $v_i$ ) gemessen. Aus



der Geschwindigkeit erhält man die Drehzahl ( $n_i$ ) und damit die Leistung ( $P_i = M_{i\text{meß}} \cdot n_i$ ) im Meßpunkt des Beschleunigungsvorganges. Aus der zuvor aufgenommenen Fahrwiderstandskurve (gerechnete Ausgleichskurve für Meßpunkte bei konstanten Geschwindigkeiten kennt man bereits  $M_{i\text{rechn}}$  und damit auch  $P_{i\text{rechn}}$ . Die Differenz aus  $P_{i\text{meß}}$  (Gesamtleistung während einer Beschleunigung) und  $P_{i\text{rechn}}$  (Leistung für Punkt konstanter Fahrgeschwindigkeit) ergibt nun die für den reinen Beschleunigungsanteil notwendige Leistung  $P_{i\text{dyn}} (= P_{i\text{meß}} - P_{i\text{rechn}})$ .

Der Mittelwert  $\bar{P}_{\text{dynB}} = (1/N_B) \sum P_{i\text{dyn}}$  multipliziert mit dem Zeitintervall  $\Delta t_B$  für den betrachteten Beschleunigungsabschnitt ergibt die für dieses Intervall aufzuwendende Beschleunigungsenergie. Diese wiederum ist als Differenz der kinetischen Energien der Bereichsgrenzen definiert, womit nach

$$\Delta E_B = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

die Masse  $m$  gefunden ist, die beschleunigt wurde.

Analog erfolgt die Berechnung der für den reinen Beschleunigungsanteil während eines Fahrzyklus aufzunehmenden Energie ③, wobei als Zeitintervall hier die Dauer eines Zyklus oder einer repräsentativen Phase davon ( $\Delta t_z$ ) eingesetzt wird. Wieder werden die im Zyklus abgegriffenen Werte mit dem Index "meß" und die aus der (gerechneten) Fahrwiderstandskurve ins Rechenprogramm eingespeisten Leistungswerte für Konstantfahrt mit dem Index "rechn." bezeichnet.

Ist nun z. B. trotz konstanter Massen und gleichem Energieanteil zum Überwinden der Fahrwiderstände bei Konstant-Fahrt ( $E_{z \text{ rechn}}$ ) in zwei Vergleichstests der für das dynamische Fahren aufzuwendende Energieanteil ( $E_{z \text{ dyn}}$ ) ungleich, so kann gefolgert werden, daß diese Erscheinung im ungleichen Fahren des Fahrers begründet liegt.

Das Ergebnis eines Vergleichstests mit Anwendung des MESP ist in Bild III. 5-85 gezeigt. Für einen 505s Heißtest wurden eine Bremslast, wie sie bei der Aufnahme der Fahrwiderstandskurve mittels Drehmoment auf der Straße bei 80 km/h gefunden wurde und die nach der Frontflächenmethode der US-EPA berechnete Bremslast im 80 km/h-Punkt an der Bremseinheit des Rollenprüfstandes eingestellt. Wie zu erwarten, unterscheiden sich das mittlere Drehmoment und die gesamte aufgewendete Energie (trotz des re-

Bremslast <sup>1)</sup> [N]	M <sub>t</sub> <sup>4)</sup> [Nm]		E <sub>z</sub> <sup>5)</sup> [kWh]		E <sub>konst</sub> <sup>6)</sup> [kWh]		E <sub>beschl</sub> <sup>7)</sup> [kWh]		CO <sub>2</sub> [g/m]	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
370 <sup>2)</sup>	171.7	0.5	1.008	0.002	0.622	0.003	0.386	0.001	143.9	0.76
350 <sup>3)</sup>	165.4	0.9	0.961	0.005	0.573	0.002	0.388	0.004	139.7	0.99

1) eingestellt bei 80 km/h; 2) Wert nach EPA-Vorschrift (Frontflächen-Methode) berechnet; 3) Wert mit Daimler-Benz Drehmoment-Methode auf der Straße ermittelt; 4)  $M_t = 1/(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} M_t(t) dt$  mit  $M_t > 0$ ;  $E_z$  – Gesamte zum Fahren des Zyklus aufgewendete Energie;  $E_{konst}$  – Energie zum Überwinden des Fahrwiderstandes bei Konstantfahrt (= Bremsbelastung beim Fahren auf dem Rollenprüfstand);  $E_{beschl}$  – Energie zum Überwinden des Fahrwiderstandes bei Beschleunigungen (= Beschleunigung der Schwungmassen des Rollenprüfstandes).

lativ kleinen Zugkraftunterschiedes von nur 20 N) signifikant ( $\bar{x} \pm 2s$  führt noch nicht zur Überlappung der Meßwerte).

Deutlich spiegelt dann die getrennte Betrachtung der Energien für Konstantfahrt und Beschleunigungsanteile die Möglichkeiten des MESP

**Bild III.5-85:** Anwendung des „Mercedes Energy Separation Program“ (MESP) auf den Vergleich zweier 505 s Fahrzyklen (Heißphase des Zertifikations-Fahr-Zyklus) mit unterschiedlicher Bremslasteinstellung des Fahrzeug-Rollen-Prüfstandes

wider: Während die zum Beschleunigen aufgewendete Energie praktisch konstant ist (unveränderte Massen, gleichmäßiges Fahren des Zyklus durch den Fahrer) zeigt der Bremslast- (d. h. Konstantfahrt-) Anteil der Gesamtenergie deutliche Unterschiede (nur die Bremslast wurde ja auch während der beiden Vergleichstest-Gruppen – je 3 Tests – verändert).

Hätte man von der Bremslastveränderung nichts gewußt (z. B. Test in einem anderen Labor mit 20 N zu großer Zugkraft im Einstellpunkt), wäre der erhöhte Kraftstoffverbrauch (CO<sub>2</sub>-Erhöhung) unerklärt geblieben hinsichtlich der Frage, ob er durch ungleichmäßiges Fahren, verschiedene Belastungen, Schwungmassenfehler oder Fahrzeugeinfluß verursacht worden war. Die Drehmomentmethode hätte über  $\bar{M}_t$  bereits die Antwort geliefert, daß beim Vergleichstest höhere Energie aufgewendet wurde, das MESP hätte darüber hinaus noch Fahrer- und Massenfehler ausgeschlossen und die Ursache in der Bremsbelastung lokalisiert.

#### 5.4 Kostenbetrachtungen

Da es zur Zielsetzung dieser Arbeit gehört, die wirtschaftlichen Bezüge der jeweils behandelten technischen Aspekte mit anzusprechen, wäre es optimal, wenn zu allen Systemen und Aktivitäten zur Emissionskontrolle auch die damit verbundenen Kostenbelastungen dargestellt würden. Aus mehreren Gründen ist dies jedoch im Rahmen der hier gemachten Ausführungen nicht möglich oder auch nicht sinnvoll, so z. B. weil

Pos.	AKTIVITÄT/INVESTITION	Kosten [DM - 1980]
1	FTP-75 Entwicklungstest für Pkw mit Otto-Motor (ohne Verdunstungstest)	1.740
2	FTP-75 Zertifikationstest für Pkw mit Otto-Motor (ohne Verdunstungstest)	2.470
3	wie Pos. 1, aber mit Verdunstungstest	2.320
4	wie Pos. 2, aber mit Verdunstungstest	3.050
5	FTP-75 Entwicklungstest für Pkw mit Diesel-Motor (ohne Partikeltest)	1.750
6	FTP-75 Zertifikationstest für Pkw mit Diesel-Motor (ohne Partikeltest)	2.380
7	wie Pos. 5, aber mit Partikeltest	1.910
8	wie Pos. 6, aber mit Partikeltest	2.510
9	4000-Meilen-Lauf auf Teststrecke	45.000
10	4000-Meilen-Lauf auf Rollenprüfstand	35.000
11	50 000-Meilen-Lauf auf Teststrecke	485.000
12	50 000-Meilen-Lauf auf Rollenprüfstand	360.000
13	100 000-Meilen-Lauf auf Teststrecke	860.000
14	100 000-Meilen-Lauf auf Rollenprüfstand	620.000
15	Erstellung Zertifizierungsdokumente für 4000- plus 50 000- (100 000-)Meilen-Lauf	250.000
16	Genehmigung eines automatischen Rollenprüfstandes zur Meilenakkumulation (Rolle-Straße Temperaturvergleich)	20.500
17	Flugversand Stuttgart-Detroit (Sondertarife, je nach Fahrzeug)	4.150 bis 4.650
18	Schiffsversand Stuttgart-Bremerhaven-New York (bei Versand mit den Fahrzeugen aus der normalen Produktion)	1.150
19	Schiffsversand Stuttgart-Bremerhaven-Los Angeles (wie bei Pos. 18)	1.350
20	Flugversand Detroit-Denver/Versand auf Straße	6.850/2.900
21	Flugversand Denver-Los Angeles/Versand auf Straße	3.900/2.700
22	Flugversand Detroit-Los Angeles/Versand auf Straße	8.300/3.850
23	Rollenprüfstand für Emissionstest	120.000
24	CVS-Anlage	120.000
25	Partikelmeßanlage (Tunnel, Entnahmestation)	48.000
26	Analysegeräte für FTP-75-Anlage	315.000
27	Prüf- und Eichgasversorgung	45.000
28	Rechner (Hard- und Software)	208.000
29	Sonstiges (Kraftstofftemperierung, Partikelwaage etc.)	35.000
30	Komplette FTP-75-Testzelle für Abgastests von Pkw mit Otto- oder Diesel-Motoren	843.000
31	Verdunstungstestanlage (SHED), nicht in Pos. 30 enthalten	150.000

Versandkosten jeweils für einen Pkw der Größe von Mercedes-Benz Fahrzeugen; Kosten für Aufwand für eine FTP-75-Testzelle ohne Grundstücks-, Gebäude-, Versorgungs- und Klimatisierungskosten.

**Bild III.5-86:** Kostenzusammenstellung für Aktivitäten und Ausrüstungen bei der Durchführung von Entwicklungs- und Zertifizierungsarbeiten im Rahmen der Emissionskontrolle an Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren für die USA.

- die bei einem Automobilhersteller mit weltweitem Absatzmarkt für Entwicklung und Produktion von emissionskontrollierten Fahrzeugen für einen bestimmten Exportmarkt anfallenden Kosten teilweise auf die für andere Märkte bestimmten Produkte mit umgelegt werden, damit die aufgrund einer eventuell sehr kostspieligen Emissionskontrollanlage notwendigen Preiserhöhungen für das Produkt innerhalb der vom Markt vorgegebenen Grenzen bleiben
- der Zusammenhang von Kosten und Preisen herstellerspezifisch und damit nicht einheitlich darstellbar ist, und weil
- generell besonders Preise politische Aspekte beinhalten und entsprechende Angaben und Diskussionen im Rahmen dieser Arbeit daher vermieden werden sollten.

Andererseits wurde so oft wie möglich durch die Angabe "neutraler" Kostendaten (z. B. für Höhenlabor, "Hearings", Prüfstände etc.) versucht, eine monetäre Abschätzung des Aufwandes der Automobilindustrie im Rahmen ihrer Emissionskontrollbemühungen zu ermög-

lichen. Unter diesem Gesichtspunkt erfolgte auch die Zusammenstellung der in Bild III. 5-86 wiedergegebenen Kosten, die von Daimler-Benz für die Verwendung bei Diskussionen mit dem US-Gesetzgeber (z. B. in "Hearings" oder "Status Reports") ermittelt wurden. Für den an "Kosten für den Verbraucher" interessierten Leser besteht die Möglichkeit, sich anhand der Ersatzteilpreise für Emissionskontrollsysteme und den bei entsprechendem Wechsel (z. B. bei Unfall oder sonstigem, nicht dem Produzenten anzulastenden Defekt) anfallenden Arbeitskosten ein Bild über die schließlich vom Konsumenten zu tragenden Kosten einer Verbesserung der Umweltqualität durch Emissions-Kontrolle an Kraftfahrzeugen zu verschaffen.

## 6. Aufwand zur Emissionskontrolle in der Serienproduktion

Wie schon anhand von Bild III. 5-2 im Zusammenhang mit Zertifizierungsbemühungen dargestellt, erstreckt sich der Aufwand eines Automobilherstellers bei der Emissionskontrolle auf die drei Bereiche: Entwicklung, Serie und Feldeinsatz. In diesen drei Gebieten sind jedoch nicht nur Neu- und Nachzertifikationen abzuwickeln, sondern es wurden weitergehende Bemühungen - wie z. B. die im nachfolgenden Abschnitt zu diskutierende Emissionskontrolle an serienmäßig produzierten Fahrzeugen - erforderlich.

Das Einhalten der für die Zertifikation gültigen Grenzwerte ist in einer Serienproduktion nicht automatisch dadurch gesichert, daß Prototypen (selbst bei gleicher Bauart aller Teile und Systeme) diese Standards bei der Zulassung unterschritten haben. Obwohl zwar - theoretisch - der Emissionsmittelwert der Serienfahrzeuge dem Emissionsniveau des entsprechenden Zertifizierungsfahrzeuges entsprechen, und die Serie damit im Mittel unter den gültigen Grenzwerten liegen müßte<sup>{823}</sup>, bestätigt die Praxis diesen Zusammenhang nicht immer. Hierfür gibt es einen statistischen Grund: Es ist dem Automobilhersteller nicht möglich, den wahren Emissionsmittelwert eines zur Produktion vorgesehenen Systems durch die Zertifizierungsfahrzeuge zu ermitteln, da an diesen Fahrzeugen aufgrund der gesetzlichen Vorschriften nur ein einziger Emissionstest im Herstellerlabor zugelassen ist.

Es wäre daher logisch gewesen, daß die US-Behörden seit Beginn der Emissionskontrollgesetzgebung ihr Augenmerk sowohl auf die Zertifizierungs- wie auch auf die Serienfahrzeuge gerichtet, und - eingedenk des obengenannten Nachteiles - entweder separate Standards für Serienfahrzeuge festgelegt oder das Zertifizierungsverfahren auf eine solide statistische Basis gestellt hätten. Um wirklich die Ziele von Programmen zur Luftqualitätsverbesserung zu erreichen, hätten die Emissionsgrenzwerte hierbei hinsichtlich des benötigten mittleren Emissionsverhaltens der Serienfahrzeuge festgeschrieben werden müssen und sich nicht - wie bis heute praktiziert - auf die zur Zertifikation vorgestellten Prototypen beziehen dürfen. Man kann daher behaupten, daß Emissionskontrollgesetzgebungen mit ausschließlicher Orientierung geplanter Luftqualitätsverbesserungen am Verfahren der Prototypen-Zertifikation grundsätzliche statistische Zusammenhänge außer acht lassen und damit das gesteckte Ziel nicht erreichen können. Erschwerend kam in der Vergangenheit bei der Lösung der gemeinsamen Aufgabe von Automobilindustrie und Gesetzgeber - die Luftqualität effektiv zu verbessern - hinzu, daß die obengenannten grundsätzlichen statistischen Zusammenhänge jahrelang von den Behörden verdrängt wurden und Begriffe wie "prototype-to-production slippage" (d. h. Abweichung des Emissionsniveaus von Produktions- und Zertifizierungsfahrzeugen) oder "Zertifizierungsstandard auf die Serie angewendet = zusätzliche Verschärfung der Emissionskontrollgesetzgebung" mit den US-Behörden nicht diskutierbar waren. Die - oft politisch geprägte Diskussion - konzentrierte sich ausschließlich auf die Zertifizierungsstandards.

Nachfolgend sei nun gezeigt, wie man behördlicherseits - in Kalifornien recht schnell, in den übrigen 49 Staaten mit Verzögerung - schließlich doch dem Emissionsverhalten von Serienfahrzeugen mehr Beachtung schenkte. Die heftigen Diskussionen über die Festlegung der zulässigen "Versagerquote" bei Einführung der 49-Staaten Serienkontrollgesetzgebung (SEA) zeigen hierbei, daß zwischen Gesetzgeber und Automobilindustrie trotz mehrjähriger kalifornischer Erfahrung noch immer Uneinigkeit über die statistischen Zusammenhänge bestand {861}.

Die neuen Gesetze lösten bei der Automobilindustrie einen weiteren hohen finanziellen und organisatorischen Aufwand aus, da die steigende Betonung des Emissionsverhaltens von Serienfahrzeugen rein additiv zu den ebenfalls weiter steigenden Prototypen-Zertifizierungsvorschriften hinzukam.

6.1 USA-Kalifornien

Kalifornien hat nicht nur die Emissionskontrollgesetzgebung in den USA (und der übrigen Welt) eingeleitet, sondern verabschiedete auch als erster Bundesstaat Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von Pkw mit Otto-Motoren. Die gesetzlichen Grundlagen sind im "California Health and Safety Code" und im "California Administrative Code" (Title 13) verankert und wurden bis heute ständig erweitert.

6.1.1 Historische Entwicklung der kalifornischen Serienkontroll-Vorschriften von 1970 bis Modelljahr 1981

Die erste Vorschrift zur emissionsseitigen Überwachung von Serienfahrzeugen datiert vom 19.03.1969 {862} und sah ab 01.4.1970 eine Berichtspflicht des Automobilherstellers über die Emissionswerte der nach einem "Heißstart-Test" überprüften Produktion vor. Zwar war schon ein Recht auf Zutritt zu den Produktionsstätten des Herstellers für Behördenpersonal vorgesehen, jedoch gab es noch keine Standards und damit auch

<b>Gesetz vom</b>	19. 3. 1969	<b>Gültig für:</b> „Light Duty Motor Vehicles“ mit Otto-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum. Außer: Hersteller mit < 2000 Fahrzeugen Gesamtjahresproduktion
<b>Einsatz ab</b>	1. 4. 1970	
<b>Prüfart</b>	Nur Abgas: 1 x 7-mode-Zyklus des „California Test“ (Zertifikationstest) mit betriebswarmem Motor gestartet, oder ein anderes Verfahren, das zum Zertifikationstest korreliert.	
<b>Prüfumfang</b>	Stichprobe muß mind. 80% der Kalifornischen Gesamtverkäufe jeder Motorgröße repräsentieren.	
<b>Grenzwerte</b>	Keine. Nur Testvorschrift mit Berichtspflicht.	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Verdunstungsemissions-Kontrollanlage darf beim Test abgeschlossen werden.</li><li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende.</li><li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für Behörde verankert</li><li>● Keine speziellen Strafbestimmungen („but actions could be taken under basic Statutes“ [864])</li></ul>	

noch keine Festschreibung von erforderlichen Konsequenzen bei hohen Emittenten (Reparatur, Rücktest, Strafzahlungen).

Hersteller mit einer Gesamtproduktion von weniger als 2000 Einheiten/Jahr sowie Fahrzeuge mit Moto-

**Bild III.6-1:** Inhalt der ersten Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW mit Otto-Motoren in den Modelljahren 1970 und 1971, nach {862}.

ren von < 50 cu.in. ( 820 cm³) Hubraum waren von den Vorschriften ausgenommen. Die wesentlichsten Bestandteile dieser ersten Regelungen für Emissionsmessungen in der Serienproduktion sind in Bild III.6-1 gezeigt.

Die Hauptarbeiten des kalifornischen ARB zur Einführung eines regulären Serienkontrollverfahrens konzentrieren sich auf das Jahr 1970. Am 16.09.1970 wurden mit Einsatzdatum 31.08.1971 (d.h. zum Beginn des Modelljahres 1972) ein sogenannter "In-



spection Test" (IT) und mit Einsatzdatum 01.07.1971 (d. h. ebenfalls noch für Modelljahr 1972) ein sogenannter "Quality Audit Test", (QAT) verabschiedet [863].

Der IT bestand aus einem mit betriebswarmem Motor gefahrenen 7-mode Zyklus des Zulassungstestes und war im Modelljahr 1972 von mindestens 25 % der Fahrzeuge einer jeden Motorfamilie zu absolvieren und (eventuell nach Reparatur und Rücktest) zu bestehen. Innerhalb von 30 Tagen nach jedem Quartalsende mußte der Hersteller einen Report an das ARB einreichen, der für jede Motorgröße die Anzahl der ursprünglich getesteten Fahrzeuge mit deren mittleren Emissionen und Standardabweichungen, die Anzahl der Fahrzeuge je Motorgröße, die den Ersttest nicht bestanden hatten (mit  $\bar{x}$  und  $s$ ) sowie die Anzahl der Fahrzeuge je Motorgröße, die den Test nach Korrektur bestanden hatten (mit  $\bar{x}$  und  $s$ ) enthielt.

Der QAT bestand aus dem offiziellen Zulassungstest, wobei - wie auch bei der Zertifizierung im Modelljahr 1972 - die Wahl zwischen dem bis dahin gültigen Kalifornien - und dem neuen CVS-Test oder einer Kombination aus beiden existierte. Mindestens 2 % jeder Motor-Hubraumgröße mußten diesen Test absolvieren, wobei die Anlage zur Kontrolle der Verdunstungsemissionen während des Tests abgeschlossen werden durfte. Hersteller mit Verkäufen < 1000 Einheiten/Jahr einer bestimmten Hubraumgröße waren von der QAT-Regelung ausgenommen.

Für den QAT galten als Grenzwerte die Zertifizierungsstandards, die von mindestens

<b>Gesetz vom</b>	16. 9. 1970 (17. 2. 1971) <sup>1)</sup>	Gültig für: „Light Duty Motor Vehicles“ mit Otto-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum. Außer: Hersteller, die pro Jahr < 100 Einheiten einer Motorhubraumgröße in Kalifornien verkaufen und Fahrzeuge mit begrenzter Produktion („limited production vehicles“) <sup>4)</sup>	
<b>Einsatz ab</b>	IT <sup>2)</sup> : 31. 8. 1971 QAT <sup>3)</sup> : 31. 7. 1971		
<b>Prüfart</b>	IT : 1 x 7-mode-Zyklus des „California Test“ mit betriebswarmem Motor gestartet, oder ein anderes Verfahren, das äquivalente Ergebnisse erzielt. QAT : Zertifikationstest		
<b>Prüfumfang</b>	IT : mind. 25% QAT : mind. 2% <sup>5)</sup> } jeder Motor-Hubraumgröße		
<b>Grenzwerte</b>	IT : 1.4 g HC/m; 19.0 g CO/m; 3.2 g NO <sub>x</sub> /m QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1972		
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Für Modelljahr 1972 kann beim QAT zwischen dem „California Test“ und der FTP-72<sup>6)</sup> oder einer Kombination aus beiden Verfahren gewählt werden</li> <li>● Die QAT-Grenzwerte sind von mindestens 90% der getesteten Fahrzeuge zu erfüllen. Wenn mehr als 10% der QAT-Stichprobe in einer Schadstoffkomponente den Grenzwert überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen in der Serie.</li> <li>● Verdunstungsemissions-Kontrollanlage darf beim QAT abgeschlossen werden.</li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende.</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Keine speziellen Strafbestimmungen („but action under the Statutes was envisaged if failure &gt; 10%“, [864])</li> </ul>		
<small>1) Datum einer Gesetzes-Ergänzung; 2) IT = Inspection Test; 3) QAT = Quality Audit Test; 4) Fahrzeuge von Modelljahren vor 1973, die in Kalifornien pro Modelljahr in &lt; 2000 Einheiten hergestellt oder verkauft wurde, wobei der Verkauf dieser Fahrzeuge im Kalenderjahr 1968 &lt; 200 Einheiten gelegen haben muß; 5) die 2%-Stichprobe muß mind. 60% der Kalifornischen Gesamtverkäufe jeder Motorgröße repräsentieren; 6) FTP-72 = Federal-Test-Procedure des Modelljahres 1972</small>			

90 % der getesteten Fahrzeuge eingehalten werden mußten. In der innerhalb von 30 Tagen nach dem jeweiligen Quartalsende an das ARB abzugebenden Meldung waren folgende Daten anzugeben: die Anzahl der ursprünglich getesteten Fahrzeuge, Mittelwert und Standardabweichung der gesamten Stichprobe, Anzahl der Fahrzeuge, die die HC-,

**Bild III.6-2:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW mit Otto-Motoren im Modelljahr 1972, nach [863].

CO- und NO<sub>x</sub>-Grenzwerte überschritten hatten sowie (nur für Modelljahr 1972)  $\bar{x}$  und  $s$  für die einem IT unterzogenen Fahrzeuge sowie  $\bar{x}$  und  $s$  für die Fahrzeuge, die keinen IT absolviert hatten. Wenn mehr als 10 % der Stichprobe den QAT nicht bestanden hatten, betrachtete es das ARB als wahrscheinlich, daß keine Übereinstimmung zwischen Zertifikations- und Serienfahrzeugen "in all material respects" - wie gesetzlich gefordert - vorlag. In diesem Fall waren (wie auch schon in Modelljahr 1970 und 1971) trotz des Fehlens spezieller Strafbestimmungen "actions under the basic Statutes"

gegen den Automobilhersteller möglich {864}. Die wichtigsten Regelungen des Modelljahr 1972 - Serienkontrollgesetzes sind in Bild III. 6-2 zusammengefaßt.

Die für Modelljahr 1973 am 15.12.1971 angenommenen Regelungen {865} waren bereits erheblich erweitert: für den Verkauf von Fahrzeugen, die den IT oder den QAT nicht bestanden hatten, wurden je Fall 5000 \$ Strafe angesetzt, wobei der IT in zwei Bestandteile aufgeteilt worden war und der neue "steady-state-IT" Teil (Leerlaufmessung von HC und CO am betriebswarmen Motor) ab 01.02.1973 von 100 % der Quartalsproduktion (bei gleichgebliebenen Grenzwerten) zu erfüllen war. Ab diesem Datum setzte auch die Vorschrift ein, die effektiven QAT-Emissionswerte von Fahrzeugen einer Motorfamilie aus dem jeweils vorangegangenen Quartal auf einem Klebeschild am Fenster des Fahrzeuges anzuzeigen.

Von jedem Fahrzeug, das im "7-mode"-oder "steady state"-Test Emissionswerte unter dem sogenannten (im nachfolgenden Bild erklärten) Kontrollgrenzwert zeigte, und das auch seinen Funktionstest bestanden hatte, nahm man an, daß es auch die Zulassungsstandards erfüllen würde. Über die IT-Ergebnisse mußte dem ARB berichtet werden und zwar durch  $\bar{x}$  und s bei den "7-mode-Tests" sowie durch  $\bar{x}$  und s von den Tests, die zur Aufstellung der Kontrollgrenzwerte beim "steady state"-Test verwendet worden waren. Der neu eingeführte Funktionstest bestand aus einer Überprüfung von Teilen oder Systemen, die als emissionsbeeinflussend angesehen wurden, auf Einhaltung der Arbeitsweise oder Spezifikation.

Beim QAT erfolgten Änderungen derart, daß auch Hersteller mit Verkaufsstückzahlen in

<b>Gesetz vom</b>	15. 12. 1971 (20. 12. 1972) <sup>1)</sup>	Gültig für: „Light Duty Motor Vehicles“ mit Otto-Motoren bis 6001 lbs und > 50 cu. in. Hubraum. Außer: Hersteller, die pro Modelljahr < 1000 Fzge. in Kalifornien verkaufen <sup>2)</sup> und Fzge. mit begrenzter Produktion („limited production vehicles“) <sup>3)</sup>									
<b>Einsatz ab</b>	1. 1. 1973										
<b>Prüfart</b>	FT <sup>4)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motorteilen oder Systemen IT <sup>5)</sup> : a) 1 x 7-mode-Zyklus des „California Test“ mit betriebswarmem Motor gestartet b) SSIT <sup>6)</sup> = HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>7)</sup> : Zertifizierungstest										
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% IT : <table><tr><td></td><td>bis 31. 1. 1973</td><td>ab 1. 2. 1973</td></tr><tr><td>a</td><td>≥ 25%</td><td>≥ 25%</td></tr><tr><td>b</td><td>≥ 25%</td><td>alle anderen</td></tr></table> QAT : mind. 2% Stichprobengröße (%) bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion einer Motorfamilie			bis 31. 1. 1973	ab 1. 2. 1973	a	≥ 25%	≥ 25%	b	≥ 25%	alle anderen
	bis 31. 1. 1973	ab 1. 2. 1973									
a	≥ 25%	≥ 25%									
b	≥ 25%	alle anderen									
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste IT : „Kontrollgrenzwerte“; An den ersten 100 im jeweiligen IT (a, b) getesteten Fahrzeugen $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2 s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1973										
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Erstmals Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 30 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal).</li><li>● Die QAT-Grenzwerte sind von mind. 90% der getesteten Fahrzeuge zu erfüllen. Wenn mehr als 10% der QAT-Stichprobe in einer Schadstoffkomponente den Grenzwert überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen in der Serie.</li><li>● Verdunstungs-Emissions-Kontrollanlage darf beim QAT abgeschlossen werden.</li><li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende.</li><li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li><li>● Strafzahlung von 5000 \$ für jedes nach dem 31. 1. 1973 produzierte Fahrzeug, das ohne Erfüllung der IT- oder QAT-Grenzwerte verkauft wird.</li></ul>										
<small>1) Datum einer Gesetzesänderung; 2) von den 100% IT- und „label“-Forderungen befreit; 3) von den IT-Forderungen befreit (die „limited production vehicles“ sind Fzge. von Modelljahren vor 1973, die in Kalifornien pro Modelljahr in &lt; 2000 Einheiten hergestellt oder verkauft wurden, wobei der Verkauf dieser Fahrzeuge im Kalenderjahr 1968 &lt; 200 Einheiten gelegen haben muß); 4) FT = Functional Test; 5) IT = Inspection Test; 6) SSIT = Steady State Inspection Test; 7) QAT = Quality Audit Test.</small>											

Kalifornien < 1000 Einheiten pro Jahr in diese Vorschrift einbezogen wurden, und der Test nach der Funktionsüberprüfung und dem IT (mit "re-test" bei Reparatur) ohne weitere Zwischentests (außer eventuell genehmigter Meilenakkumulation) zu erfolgen hatte. Außerdem fand ab Modelljahr 1973 ausschließlich der CVS-Test Verwendung.

**Bild III.6-3:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW mit Otto-Motoren im Modelljahr 1973, nach {865}. Zu testen waren wie bisher mindestens 2 % der Motorfamilienproduktion pro Kalenderquartal. Im einzureichenden Report waren ergänzend zu den in Modelljahr 1972 geforderten Angaben -  $\bar{x}$  und s derjenigen Fahrzeuge

zu nennen, die einen "steady state"-Teil sowie  $\bar{x}$  und  $s$  derjenigen Wagen, die den "7-mode" Zyklus des IT absolviert hatten. Abschließend kündigte die 1973er Vorschrift an, daß künftig sogenannte "enforcement procedures", d. h. Nachprüfaktionen durch die Behörde gesetzlich vorgesehen werden könnten. In Bild III. 6-3 sind die Änderungen des Serienkontrollgesetzes für Modelljahr 1973 wiedergegeben.

In den am 20.06.1973 angenommenen Modelljahr 1974-Regelungen {866} entfiel der "7-mode"-Anteil des IT, und es verblieb nur der "steady state emission test" für 100 % der Produktion. Erstmals tauchte die Vorschrift auf, daß Fahrzeuge, die entweder den IT oder den QAT nicht bestehen, nachgetestet werden müssen und nur dann ohne Strafzahlung verkauft werden dürfen, wenn sie (eventuell nach Reparatur) den Nachtest bestanden haben. Vor Modelljahr 1974 bezog sich diese Formulierung ausschließlich auf den IT. Bestand ein Fahrzeug den Ersttest nicht, durfte es nur *einen* Wiederholungstest ohne Reparatur oder Neueinstellung absolvieren (hierdurch wollte man erreichen, daß Hersteller an einem nicht bestandenen Fahrzeug tatsächlich etwas unternehmen und nicht einfach auf eine bei Mehrfachtests möglicherweise auftretende Teststreuung "nach unten" hoffen).

Für Hersteller, die wegen geringer Verkaufsstückzahlen von den Forderungen zur Durchführung eines IT und zur Anbringung eines Aufklebers mit den Emissionswerten befreit waren, betrug die Anzahl der Fahrzeuge in der Stichprobe mindestens 2 % der Modelljahr-Produktion jeder Motorfamilie (für alle anderen Hersteller bezogen sich die 2 % auf die Quartalsproduktion).

<b>Gesetz vom</b>	20. 6. 1973	Gültig für: „Light Duty Motor Vehicles“ mit Otto-Motoren bis 6001 lbs und > 50 cu. in. Hubraum. Außer: Hersteller, die pro Modelljahr < 1000 Fzge. in Kalifornien verkaufen <sup>1)</sup> und Fzge. mit begrenzter Produktion („limited production vehicles“ <sup>2)</sup> )
<b>Einsatz ab</b>	Modelljahr 1974	
<b>Prüfart</b>	FT <sup>3)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motorteilen oder Systemen SSIT <sup>4)</sup> : HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>5)</sup> : Zertifikationstest	
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% SSIT : 100% QAT : mind. 2% <sup>6)</sup>	
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste SSIT : „Kontrollgrenzwerte“; An den ersten 100 in diesem IT getesteten Fzgn. $\bar{x}$ , $s$ bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1974	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des SSIT aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden.</li> <li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 30 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal)</li> <li>● Die QAT-Grenzwerte sind von mind. 90% der getesteten Fahrzeuge zu erfüllen. Wenn mehr als 10% der QAT-Stichprobe in einer Schadstoffkomponente den Grenzwert überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen in der Serie (Letzteres wird bei Stichproben &lt; 30 Fzge. nicht angewendet).</li> <li>● Wird der erste QAT nicht bestanden, ist ein Wiederholungstest ohne Reparatur oder Einstellung erlaubt. Das Ergebnis des Wiederholungstests wird als offizielles Resultat des QAT betrachtet.</li> <li>● Verdunstungsemissions-Kontrollanlage darf beim QAT abgeschlossen werden</li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende.</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Strafzahlung von 5000 \$ für jedes Fahrzeug, das ohne Erfüllung der SSIT- oder QAT-Grenzwerte verkauft wird (außer: max. 10% der QAT-Fzge. durften auch ohne Standard-Erfüllung verkauft werden)</li> </ul>	

1) von den 100% SSIT- und „label“-Forderungen befreit; 2) von den SSIT-Forderungen befreit (die „limited production vehicles“ sind Fahrzeuge von Modelljahren vor 1973, die in Kalifornien pro Modelljahr in < 2000 Einheiten hergestellt oder verkauft wurden, wobei der Verkauf dieser Fahrzeuge im Kalenderjahr 1968 < 200 Einheiten gelegen haben muß); 3) FT = Functional Test; 4) SSIT = Steady State Inspection Test; 5) QAT = Quality Audit Test; 6) Bei Herstellern, für die Fußnote 1) gilt, bezieht sich die Angabe (von mind. 2%) auf die gesamte Modelljahrproduktion einer Motorfamilie.

Ein Bestehen des Funktionstests blieb nach wie vor die Voraussetzung, bevor komplette Emissionstests (QAT) an den Stichprobenfahrzeugen erfolgen durften. Die Angaben auf dem Fensterklebeschild blieben wie 1973.

Im Zusammenhang mit der als "running-change" Verfahren im Kap. 5.2.2.1 beschriebenen Nachzertifizierung für die laufende Produktion ist jedoch ein neu aufgenommener Passus von Bedeutung, der vor-schreibt, daß der

**Bild III.6-4:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW mit Otto-Motoren im Modelljahr 1974, nach [866].

"Executive Officer" des ARB innerhalb einer Woche zu benachrichtigen ist, wenn eine Neubestimmung von Kontrollgrenzwerten für den "steady state"-IT aufgrund von "running changes", die das Leerlauf-Emissionsniveau beeinflussen, erfolgt ist. Bild III.6-4 faßt die neuen Regelungen für Modelljahr 1974 zusammen.

In den am 13.02.1974 angenommenen Modelljahr 1975-Regelungen {867} änderte sich an den Testvorschriften nichts wesentliches. Jedoch wurden leichte Nfz in den Gültig-

<b>Gesetz vom</b>	13. 2. 1974 (14. 8. 1974) <sup>1)</sup>	<b>Gültig für:</b> PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Otto-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum. Außer: Hersteller, die pro Modelljahr < 1000 Fzge. in Kalifornien verkaufen <sup>2)</sup> und Fzge. mit begrenzter Produktion („limited production vehicles“) <sup>3)</sup>
<b>Einsatz ab</b>	Modelljahr 1975	
<b>Prüfart</b>	FT <sup>4)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motortellen und Systemen } „Inspection Test“ SSIT <sup>5)</sup> : HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>6)</sup> : Zertifikationstest	
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% } (FT muß vor Durchführung eines Emissionstests bestanden werden) SSIT : 100% } Stichprobengröße (%) bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion QAT : mind. 2%) } einer Motorfamilie	
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste SSIT : „Kontrollgrenzwerte“: An den ersten 100 in diesem IT getesteten Fzgn. $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1975	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des SSIT aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden.</li> <li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 30 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal). Die QAT-Grenzwerte sind von mind. 90% der getesteten Fahrzeuge zu erfüllen. Wenn mehr als 10% der QAT-Stichprobe in einer Schadstoffkomponente den Grenzwert überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen in der Serie (Letzteres wird bei Stichproben &lt; 30 Fzge. nicht angewendet).</li> <li>● Wird der erste QAT nicht bestanden, ist ein Wiederholungstest ohne Reparatur oder Einstellung erlaubt. Der Mittelwert aus beiden Tests wird als offizielles Resultat des QAT betrachtet.</li> <li>● Bei der Meldung der QAT-Ergebnisse (<math>\bar{x}</math>, s, Anzahl der Fzge. die die HC-, CO-, NO<sub>x</sub>-Grenzwerte überschritten haben) sind diese Daten zusätzlich mit Berücksichtigung des „deterioration factor“ (DF) aus der Zertifikation zu berechnen und anzugeben (nur zur Information der Behörde).</li> <li>● Verdunstungsemissions-Kontrollanlage darf beim QAT abgeschlossen werden.</li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende.</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Keine Strafhöhe definiert, Festlegung der Höhe war Sache des Gerichts; Straffreiheit nur für Verkäufe von Fzgn., die individuell den FT und SSIT oder als 90%-Gruppe den QAT bestanden haben.</li> </ul>	

1) Datum einer Gesetzesergänzung; 2) von den 100% SSIT- und „label“-Forderungen befreit; 3) von den SSIT-Forderungen befreit (die „limited production vehicles“ sind Fzge. von Modelljahren vor 1973, die in Kalifornien pro Modelljahr in < 2000 Einheiten hergestellt oder verkauft wurden, wobei der Verkauf dieser Fahrzeuge im Kalenderjahr 1968 < 200 Einheiten gelegen haben muß); 4) FT = Functional Test; 5) SSIT = Steady State Inspection Test; 6) QAT = Quality Audit Test; 7) Bei Herstellern, für die Fußnote 2) gilt, bezieht sich die Angabe (von mind. 2%) auf die gesamte Modelljahrproduktion einer Motorfamilie.

keitsbereich dieser Vorschriften aufgenommen. Die in obengenanntem Gesetz zunächst aufgestellte Forderung, auf dem Fenster-Klebeschild außer den bisher geforderten QAT-Werten auch die beim "steady state"-Test gefundenen HC- und CO-Werte mit den jeweils dazugehörigen Kontrollgrenzwerten anzugeben, wurde im Ergänzungsgesetz wieder fallengelassen.

**Bild III. 6-5:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW und leichten Nutzfahrzeugen mit Otto-Motoren im Modelljahr 1975, nach [867].

zu zahlenden Strafe mehr, wenn ein Hersteller ein Fahrzeug zu verkaufen versucht, das den IT nicht bestanden hat und eine entsprechende Aussage zum QAT, die in den 1974er Vorschriften erstmals aufgetaucht waren, ist wieder verschwunden.

Bei der statistischen Auswertung wird - nur zur Information für die Behörde - zusätzlich die Angabe der QAT-Werte unter Berücksichtigung der Verschlechterungsfaktoren ("deterioration factor"-DF) aus der Zertifikation verlangt. In Bild III. 6-5 ist der Gesetzesstand für Modelljahr 1975 beschrieben.

Am 11.12.1974 wurde die Modelljahr 1975-Prozedur auf Modelljahr 1976 übertragen {868}, wobei erstmals im Gültigkeitsbereich dieses Gesetzes keine Ausnahmen mehr für Hersteller bestimmter (begrenzter) Produktions- oder Verkaufsstückzahlen gemacht wurden.

Beim QAT wurde die Wahlmöglichkeit zwischen zwei Alternativen eingeführt: Bei *Alternative 1* entschied sich der Hersteller dafür, das zuerst anfallende QAT-Ergebnis als offizielles QAT-Resultat zu verwenden. Bei *Alternative 2* konnte er ohne Reparatur oder Einstellung einen Wiederholungstest durchführen, wenn das Fahrzeug in irgendeiner Schadstoffkomponente nicht bestanden hatte. Voraussetzung war allerdings, daß

Darüber hinaus findet sich keine zahlenmäßige Angabe über die Höhe der

er dann noch alle diejenigen Fahrzeuge einem solchen Zweittest unterzog, die zwischen 90 bis 100 % vom Grenzwert desjenigen Schadstoffes gelegen hatten, für den obengenannter Test nicht bestanden worden war. Der zweite Test war in allen diesen

<b>Gesetz vom</b>	11. 12. 1974 (20. 2. 1976) <sup>1)</sup>	<b>Gültig für:</b> PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Otto-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum. Keine Ausnahmeregelungen mehr für Hersteller geringer Fahrzeug-Stückzahlen (für Modelljahr 1976 und alle späteren Modelljahre)
<b>Einsatz ab</b>	Modelljahr 1976	
<b>Prüfart</b>	FT <sup>2)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motorteilen und Systemen SSIT <sup>3)</sup> : HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>4)</sup> : Zertifikationstest <span style="float: right;">} „Inspection Test“</span>	
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% SSIT : 100% QAT : mind. 2% <span style="float: right;">} (FT muß vor Durchführung eines Emissionstests bestanden werden)            Stichprobengröße [%] bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion einer Motorfamilie</span>	
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste SSIT : „Kontrollgrenzwerte“; An den ersten 100 in diesem IT getesteten Fzgn. $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1976	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des SSIT aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden.</li> <li>● Bei der Festlegung der Kontrollgrenzwerte wird zwischen Nicht-Katalysatorsystemen sowie Katalysatorsystemen ohne Lufteinblasung und Katalysatorsystemen mit Lufteinblasung unterschieden</li> <li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 30 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal).</li> <li>● Die QAT-Grenzwerte sind von mind. 90% der getesteten Fahrzeuge zu erfüllen. Wenn mehr als 10% der QAT-Stichprobe in einer Schadstoffkomponente den Grenzwert überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen in der Serie (Letzteres wird bei Stichproben &lt; 30 Fzge. nicht angewendet).</li> <li>● Beim QAT hat der Hersteller die Wahl zwischen zwei Alternativen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Alternative 1:</b> Der erste QAT wird als offizielles Ergebnis gewertet.</li> <li>- <b>Alternative 2: („retest“-Alternative)</b> Der Hersteller kann ein Fahrzeug, das im QAT irgendeinen Grenzwert überschritten hat, ohne Reparatur oder Einstellung erneut testen, vorausgesetzt, er unterzieht dann auch alle anderen QAT-Fahrzeuge, die im gleichen Schadstoff zwischen 90–100% vom Grenzwert lagen, einem Wiederholungstest ohne Reparatur oder Einstellung. Der Wiederholungstest liefert dann die offiziellen QAT-Ergebnisse.</li> </ul> </li> <li>● Verdunstungs-Emissions-Kontrollenlage darf beim QAT abgeschlossen werden.</li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende.</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Keine Strafhöhe definiert, Festlegung der Höhe war Sache des Gerichts; Straffreiheit nur für Verkäufe von Fzgn., die individuell den FT und SSIT oder als 90%-Gruppe den QAT bestanden haben.</li> </ul>	
1) Datum einer Gesetzesergänzung; 2) FT = Functional Test; 3) SSIT = Steady State Inspection Test; 4) QAT = Quality Audit Test.		

Fällen als offizielles QAT-Ergebnis zu nehmen.

In der Berichterstattung blieb es bei einer noch immer nur zur Information der Behörde gedachten zusätzlichen Nennung der HC-, CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionswerte mit eingerechnetem "deterioration factor" (DF) aus der Zertifikation. Für die 2 %-Stichprobengröße der QAT wurde eine Mindestzahl von 30 Fahrzeugen definiert. Die wesentlichsten Veränderungen für Modelljahr 1976 sind in Bild III.6-6 gezeigt.

**Bild III. 6-6:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW und leichten Nutzfahrzeugen mit Otto-Motoren im Modelljahr 1976, nach [868].

Die Modelljahr 1977-Vor-

schriften vom 20.02.1976 [869] stellen wieder einen Meilenstein in der kalifornischen Gesetzgebung dar: Mit der möglichen Wahl zwischen zwei Optionen bei der QAT-Durchführung erfolgte – statistisch betrachtet – die Einführung eines Verfahrens, das auf der Variablenprüfung (Mittelwert-Betrachtung) beruht (Option II) und ab diesem Zeitpunkt neben dem "alten" Verfahren (Option I), das die attributive Bewertung (Gutanteil/Schlechtanteil-Beurteilung) verwendet, zur Verfügung stand.

Die QAT-Option I entsprach im wesentlichen dem Verfahren von Modelljahr 1976 mit einigen kleinen Ergänzungen. So mußte das Verfahren einer eventuellen Meilenakkumulation nach den IT vor dem QAT mit jedem Quartalsbericht an den "Executive Officer" des ARB eingereicht werden, die im "Quarterly Report" anzugebenden Emissionswerte eines jeden Fahrzeugs durften auf CH<sub>4</sub> korrigiert werden (d.h. der zu erfüllende Grenzwert berücksichtigte den unschädlichen Methan-Anteil im Abgas), und die mit dem "deterioration factor" aus der Zertifikation multiplizierten  $\bar{x}$ - und s-Werte der Gesamtstichprobe (die seit Modelljahr 1976 nur "zur Information" an das ARB mitgemeldet werden mußten) wurden nachträglich ebenfalls CH<sub>4</sub>-korrigiert. Die wichtigste Änderung des ab Modelljahr 1977 mit Option I bezeichneten "alten" QAT-Verfahrens war, daß jede Motorfamilie deren erste 30 getesteten Fahrzeuge eine Versagerquote > 10 %

hatten, separat gemeldet werden mußte.

Die neue QAT-Option II unterschied sich von Option I im wesentlichen bei der statistischen Auswertung: Es wurde der *Mittelwert* der QAT-Emissionswerte betrachtet. Dieser wurde mit dem "deterioration factor" (DF) aus der Zertifizierung multipliziert. Danach erfolgte noch die CH<sub>4</sub>-Korrektur. Im "Quarterly Report" waren die mit dem DF

multiplizierten mittleren QAT-Emissionen mit der Standardabweichung der Gesamtstichprobe basierend auf den Emissionswerten eines jeden getesteten Fahrzeuges anzugeben (wobei nach DF-Multiplikation auch die obengenannte CH<sub>4</sub>-Korrektur stattfand). Nach DF-Multiplikation und CH<sub>4</sub>-Korrektur war die Anzahl von Fahrzeugen zu nennen, die die HC-, CO- und/oder NO<sub>x</sub>-Zulassungsstandards überschritten hatten, d. h. bei dieser Option II waren die DF-korrigierten Werte nicht mehr nur zur Information der Behörde zu melden. Von Bedeutung ist für dieses Modelljahr noch die erstmals eingeführte Anzeigepflicht der HC- und

<b>Gesetz vom</b>	20. 2. 1976 bzw. 25. 1. 1977	<b>GÜLTIG</b> für: PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Otto-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum (Modelljahr 1977-Regelung), und für PKW mit Otto-Motoren, PKW sowie leichte und mittelschwere NFZ mit Otto- und Diesel-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum (ab Modelljahr 1978)	
<b>Einsatz ab</b>	Modelljahr 1977 sowie Modelljahr 1978		
<b>Prüfart</b>	FT <sup>1)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motorteilen und Systemen } „Inspection Test“ SSIT <sup>2)</sup> : HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>3)</sup> : Zertifikationstest		
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% SSIT <sup>2)</sup> : 100% QAT : mind. 2%		(FT, der Emissionen beeinflusst, muß vor Durchführung des SSIT <sup>2)</sup> bestanden werden) Stichprobengröße (%) bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion einer Motorfamilie
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste SSIT <sup>2)</sup> : „Kontrollgrenzwerte“; An den ersten 100 in diesem IT getesteten Fahrzeugen $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1977		
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des SSIT<sup>2)</sup> aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden</li> <li>● Bei der Festlegung der Kontrollgrenzwerte wird zwischen Nicht-Katalysatorsystemen sowie Katalysatorsystemen ohne Lufteinlassung und Katalysatorsystemen mit Lufteinlassung unterschieden</li> <li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 30 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal)</li> <li>● Anzeigepflicht der HC- und CO-Konzentrationswerte des SSIT<sup>2)</sup> zusammen mit den dazugehörigen Kontrollgrenzwerten auf Klebeschild am Fahrzeug-Fenster („window decal“). Diese Forderung wurde ab 1. 1. 1977 wieder ungültig.</li> <li>● Beim QAT hat der Hersteller die Wahl zwischen zwei Optionen:  <b>Option I:</b> (Verfahren wie von Modelljahr 1972 an üblich)            - Die QAT-Grenzwerte sind von mind. 90% der getesteten Fzge. zu erfüllen. Behörde fordert Gegenmaßnahmen, wenn &gt; 10% der QAT-Stichprobe in einer Schadstoffkomponente den Grenzwert überschreiten (nur bei Stichproben &gt; 30 Fahrzeuge)            - Hersteller hat die Wahl zwischen zwei Alternativen. <b>Alternative 1:</b> Der erste QAT wird als offizielles Ergebnis gewertet. <b>Alternative 2: („retest-Alternative“)</b> Der Hersteller kann ein Fzg., das im QAT einen Grenzwert überschritten hat, ohne Reparatur oder Einstellung erneut testen. Er muß dann aber auch alle anderen QAT-Fzge., die im gleichen Schadstoff zwischen 90-100% vom Grenzwert lagen, einem Wiederholungstest ohne Reparatur oder Einstellung unterziehen. Der Wiederholungstest liefert dann die offiziellen QAT-Ergebnisse.            - Die QAT-Emissionswerte dürfen auf CH<sub>4</sub> korrigiert werden (HC-Emission).            - In der Berichterstattung werden die QAT-Ergebnisse mit dem „deterioration factor“ aus der Zertifizierung multipliziert und danach (im Falle der HC-Emission) auf CH<sub>4</sub> korrigiert (nur zur Information der Behörde)            - Jede Motorfamilie, deren erste 30 getestete Fzge. &gt; 10% Versagerquote haben, muß innerhalb von 10 Tagen an die Behörde gemeldet werden.  <b>Option II:</b> (Verfahren erstmals für Modelljahr 1977 eingeführt)            - Die Mittelwerte der QAT-Ergebnisse werden mit dem „deterioration factor“ aus der Zertifizierung multipliziert und anschließend (bei HC) auf CH<sub>4</sub> korrigiert. Danach erfolgt Vergleich mit den Grenzwerten            - Wenn der Mittelwert der korrigierten QAT-Ergebnisse den jeweiligen Grenzwert überschreitet, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen.            - Jede Motorfamilie, bei deren ersten 30 getesteten Fahrzeugen der korrigierte Mittelwert &gt; Grenzwert liegt, muß innerhalb von 10 Tagen an die Behörde gemeldet werden.</li> <li>● Verdunstungs-Emissions-Kontrollanlage darf beim QAT abgeschlossen werden</li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 30 Tagen nach Quartalsende</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Keine Strafhöhe definiert. Festlegung der Höhe war Sache des Gerichtes. Straffreiheit nur für Verkäufe von Fzgn., die individuell den FT und SSIT<sup>2)</sup> oder (bei Option I) als 90%-Gruppe den QAT bestanden haben.</li> </ul>		
1) FT = Functional Test; 2) SSIT = Steady State Inspection Test; Ab Modelljahr 1978: SSET („Steady State Emissions Test“); 3) QAT = Quality Audit Test.			

**Bild III. 6-7:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW und leichten Nutzfahrzeugen mit Otto-Motoren für die Modelljahre 1977 und 1978, nach [869].

CO-Konzentrationswerte des SSIT zusammen mit den dazugehörigen Kontrollgrenzwerten auf dem Klebeschild am Fahrzeugfenster (wie es schon einmal für Modelljahr 1975 geplant war). Diese Forderung wurde jedoch am 27.7.1976 in einem Hearing beim ARB ab 1.1.1977 wieder aufgehoben. Bild III. 6-7 faßt die ab Modelljahr 1977 einsetzenden Regelungen zusammen, die im wesentlichen auch für Modelljahr 1978 gültig sind.

Am 19.12.1977 wurden die für das Modelljahr 1978 gültigen Vorschriften angenommen [870]. Im Pkw-Bereich ergab sich gegenüber den 77er-Regelungen nur folgende nennenswerte Veränderung: Der Motor des Fahrzeuges sollte nach Herstellerspezifikationen für die Übergabe an den Kunden eingestellt sein, ehe der "steady state"-Emissionstest durchgeführt wurde. Diese Formulierung war für Hersteller wichtig, die - wie

Daimler-Benz die Fahrzeuge vor Auslieferung an den Kunden (oft Wochen nach Auslieferung des Fahrzeuges aus der Serienproduktion) genau überprüfen und - wenn notwendig - neu einstellen. Daimler-Benz unterhält zu diesem Zweck ein spezielles "Vehicle Preparation Center" (VPC) in Los Angeles, aus dem das ARB z. B. Fahrzeuge zur Nachkontrolle ins Behördenlabor abrufen (siehe dazu auch Kap. 6.1.4 "Title 13-Testing").

Hatte der Hersteller die schon unter Modelljahr 1976 beschriebene Wiederholungstest-Möglichkeit (Alternative 2) gewählt, mußte er klar angeben, ob er den Wiederholungstest mit oder ohne vorangegangene Reparatur durchgeführt hatte.

Die am 19.12.1977 erlassenen (am 09.05.1979 letztmalig überarbeiteten) Serienkontrollvorschriften für Modelljahr 1979 {871} beinhalteten jedoch wieder einige bemerkenswerte Neuerungen. Zunächst wurde der Geltungsbereich auf leichte und mittelschwere Nutzfahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motoren erweitert. Bezüglich des QAT wurde die für Modelljahr 1977 eingeführte Option II wieder gestrichen, und die "alte" Option I mit nachfolgenden Änderungen zum neuen Standardverfahren umgewandelt: Erstmals durfte die Anlage zur Kontrolle der Verdunstungsemissionen beim QAT nicht mehr abgeschaltet werden. Stattdessen war lediglich erlaubt, einen neuen Kohlekanister vor Testbeginn einzubauen (die Fahrzeuge haben oft lange Transportstrecken mit vielen Motorstarts, aber wenig Fahrstrecke zur Regenerierung der Aktivkohlekanister zurückgelegt). Der QAT-Ablauf bestand aus einem LA-4 Zyklus mit nachfolgendem "cold soak" und ab-

<b>Gesetz vom</b>	<b>19. 12. 1977</b> (6. 9. 1978; 9. 5. 1979) <sup>1)</sup>	<b>Gültig für:</b> PKW mit Otto-Motoren, leichte sowie mittelschwere Nutzfahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum
<b>Einsatz ab</b>	<b>Modelljahr 1979</b>	
<b>Prüfart</b>	FT <sup>2)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motorteilen oder Systemen } „Inspection Test“ SSET <sup>3)</sup> : HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>4)</sup> : Zertifizierungstest	
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% SSET : 100% QAT : mind. 2%	
	(FT, der Emissionen beeinflusst, muß vor Durchführung des SSET bestanden werden) Stichprobengröße [%] bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion einer Motorfamilie	
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste SSET : „Kontrollgrenzwerte“: An den ersten 100 in diesem ET getesteten Fzgn. $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1979	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des SSET aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden.</li> <li>● Bei der Festlegung der Kontrollgrenzwerte wird nur noch zwischen Emissionskontrollkonzepten mit und solchen ohne Katalysator unterschieden. Die max. zulässige Höhe der Kontrollgrenzwerte wird gesenkt (gegenüber früheren Modelljahren).</li> <li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 45 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal).</li> <li>● Beim QAT nur noch das „Mittelwert-Verfahren“ („averaging Option II“) mit folgenden Neuerungen:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nach den IT<sup>5)</sup> darf kein Emissionstest mehr vor dem QAT gefahren werden, es sei denn, das Verfahren wird an allen in Kalifornien verkauften Fahrzeugen praktiziert.</li> <li>- Verdunstungsemissions-Kontrollanlage muß beim QAT angeschlossen sein, jedoch darf ein neuer Aktivkohlekanister vor Testbeginn eingebaut werden.</li> <li>- Die Vorkonditionierung vor dem QAT findet wie folgt statt: 1 x UDDS<sup>6)</sup>, dann „cold soak“, dann FTP-75 (= QAT).</li> <li>- Die „retest-Alternative“ der Modelljahre 1976 bis 1978 entfällt.</li> <li>- Die Auswertung der Serienkontrolle erfolgt an Stichproben &gt; 30 Fzge.</li> <li>- Wenn die Mittelwerte der Emissionen (mit dem „deterioration factor“ multipliziert und CH<sub>4</sub>-korrigiert) die Grenzwerte überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen.</li> <li>- Wenn mehr als 1% (mind. 2 Fzge.) der innerhalb einer Motorfamilien-Stichprobe getesteten Fahrzeuge Emissionen &gt; 2.33 s<sup>7)</sup> zeigen, hat innerhalb von 10 Arbeitstagen Meldung an die Behörde zu erfolgen.</li> </ul> </li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 45 Tagen nach Quartalsende. Gegenüber früheren Modelljahren erstmals (kraftstoffverbrauchs-bezogene) Angaben über Schwungmassenklasse, Straßenlast und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bericht verlangt.</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Keine Strafhöhe definiert. Festlegung der Höhe war Sache des Gerichtes. Straffreiheit nur auf Verkäufe von Fahrzeugen bezogen, die den FT und SSET bestanden haben.</li> </ul>	

1) Datum von Gesetzesänderungen; 2) FT = Functional Test; 3) SSET = Steady State Emissions Test; 4) QAT = Quality Audit Test; 5) IT = Inspection Test = (FT + SSET); 6) UDDS = Urban Dynamometer Driving Schedule (= LA-4-Zyklus der FTP-75); 7) s = Standardabweichung

1) Datum von Gesetzesänderungen; 2) FT = Functional Test; 3) SSET = Steady State Emissions Test; 4) QAT = Quality Audit Test; 5) IT = Inspection Test = (FT + SSET); 6) UDDS = Urban Dynamometer Driving Schedule (= LA-4-Zyklus der FTP-75); 7) s = Standardabweichung

schließendem Test nach der FTP-75. Die im Modelljahr 1976 eingeführte Entscheidungsmöglichkeit zwischen zwei Alternativen (Ersttest oder Wiederholungstest) beim QAT wurde ebenfalls gestrichen.

Bei der Festlegung der Kontrollgrenzwerte für den "steady state" Emissionstest wurde nicht mehr - wie seit Modelljahr 1976 üblich - zwischen Katalysatoren mit und ohne Lufteinblasung, sondern nur noch zwischen Systemen mit und ohne Katalysator unterschieden, wobei der SSET

**Bild III. 6-8:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW mit Otto-Motoren sowie leichten und mittelschweren Nutzfahrzeugen mit Otto- und Diesel-Motoren im Modelljahr 1979, nach [871].

ab sofort in jeder Getriebestufe gefahren werden konnte, (bis Modelljahr 1978 galt: Leerlauf in N, P oder D), vorausgesetzt, das Verfahren wurde auch bei Serienfahrzeugen und den Wagen, die die Kontrollgrenzwerte bestimmt hatten, gleichermaßen angewendet.

Bei der Auswertung der Testergebnisse erschien neu, daß das ARB bereits nach jedem Quartal Strafen verhängen durfte, und daß eine weitere Berichtspflicht beim QAT eingeführt wurde: Sobald mehr als 1 % (mindestens 2 Fahrzeuge) innerhalb der Stichprobe einer Motorfamilie zu irgendeinem Zeitpunkt der Emissionsmittelwertbestimmung dieser Motorfamilie projizierte Emissionen (DF- und CH<sub>4</sub>-korrigiert) aufwiesen, die den gültigen Grenzwert um mehr als 2,33·s überschritten, mußte der Hersteller diese Tatsache innerhalb von 10 Arbeitstagen an den "Executive Officer" des ARB melden. Beizufügen waren dieser Meldung eine ingenieurmäßige Untersuchung des Falles, eine Beurteilung der Ursache und Abhilfeschläge.

Als ergänzende Information innerhalb der "Quarterly Reports" wurde erstmals nach der

<b>Gesetz</b> vom	16. 11. 78 <sup>1)</sup> 19. 12. 79	Gültig für: PKW mit Otto- und Diesel-Motoren, leichte und mittelschwere Nutzfahrzeuge mit >50 cu.in. Hubraum
<b>Einsatz</b> ab	Modelljahr 1980 Modelljahr 1981	
<b>Prüfart</b>	FT <sup>2)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motortellen oder Systemen SSET <sup>3)</sup> : HC- und CO-Prüfung im Leerlauf bei betriebswarmem Motor QAT <sup>4)</sup> : Zertifikationstest	
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% SSET : 100% QAT : mind. 2% (FT muß vor Durchführung eines Emissionstests bestanden werden) Stichprobengröße [%] bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion einer Motorfamilie	
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste SSET : „Kontrollgrenzwerte“. An den ersten 100 in diesem ET getesteten Fzgn. $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2 \cdot s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifizierungsstandards von Modelljahr 1980 und 1981	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des SSET aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden.</li><li>● Bei der Festlegung der Kontrollgrenzwerte wird nur noch zwischen Emissionskontrollkonzepten mit und solchen ohne Katalysator unterschieden. Die max. zulässige Höhe der Kontrollgrenzwerte wird gesenkt (gegenüber früheren Modelljahren).</li><li>● Der Leerlauf-Test (SSET) darf ohne Lufterbläsung durchgeführt werden, vorausgesetzt, die Fahrzeuge zur Kontrollgrenzwert-Bestimmung werden mit und ohne Lufterbläsung getestet.</li><li>● Ausnahmen von der Anwendung der maximal zulässigen Kontrollgrenzwerte aus Section 2176 von „Title 13“ des „California Administrative Code“ sind möglich, wenn der Hersteller in seinen Quartalsberichten Emissionswerte nach einer der folgenden Optionen liefert: Option 1: HC- und CO-Emissionswerte im Leerlauf für jedes QAT-Fahrzeug mit Angabe von <math>\bar{x}</math> und s für alle getesteten Fahrzeuge je Motorfamilie. Angabe von <math>\bar{x}</math> und s entfallen, falls Motorfamilie &lt;30 Fahrzeuge. Option 2: HC- und CO-Emissionswerte im Leerlauf für mind. 30 Fahrzeuge einer Motorfamilie. Diese Emissionsbestimmung muß hierbei sofort dann erfolgen, wenn die Fahrzeuge die Inspektionsverfahren der Serienkontrolle erfüllt haben und entweder auf Rollenprüfstand oder Straße 50 Meilen eingefahren wurden, oder ein anderes Motor-Einlauf-Verfahren erfolgt ist und der Motor Betriebstemperatur hat. Anzugeben sind zusätzlich <math>\bar{x}</math> und s.</li><li>● Kontrollgrenzwerte mit Lufterbläsung müssen für diejenigen Motorfamilien, die ohne Lufterbläsung getestet wurden, mitangegeben werden.</li><li>● Alle HC-Angaben als Hexan-Äquivalent (bei NDIR-Messung) oder als ppm C (bei FID-Messung).</li><li>● Modelljahr 1980: Ist eine Motorfamilie für den Nicht-Methan HC-Standard (0.39 g/m) zertifiziert worden, so kann entweder<ul style="list-style-type: none"><li>- der im QAT gemessene Summen-HC-Wert mit dem Nicht-Methan „deterioration factor“ (DF) sowie mit einem „methane content correction factor“ (MCCF) von 0.89 (für PKW) und 1.0 (für Nfz) multipliziert werden, oder</li><li>- der Hersteller kann beim QAT den methanfreien HC-Wert des Abgases ermitteln und diesen mit dem Nicht-Methan-DF multiplizieren.</li></ul>Ist eine Motorfamilie für den Gesamt-HC-Standard (0.41 g/m) zertifiziert, so wird der QAT-HC-Meßwert mit dem Gesamt-HC-DF und dem MCCF wie oben angegeben multipliziert.</li><li>● Modelljahr 1981<ul style="list-style-type: none"><li>Ist eine Motorfamilie für den Nicht-Methan HC-Standard zertifiziert worden, so muß der Hersteller im QAT die Nicht-Methan HC-Emission ermitteln und mit dem Nicht-Methan HC-„deterioration factor“ (DF) multiplizieren.</li><li>Wurde die Motorfamilie für den Summen-HC-Standard zertifiziert, soll der Hersteller den Summen-HC-Wert im QAT feststellen und mit dem Gesamt-HC-DF multiplizieren.</li></ul></li><li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte, die den DF einschließen sollen, auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 45 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal).</li><li>● Beim QAT „Mittelwert-Verfahren“ („averaging Option II“) wie in den Modelljahren 1977/78.<ul style="list-style-type: none"><li>- Nach den IT<sup>5)</sup> darf kein Emissionstest mehr vor dem QAT gefahren werden, es sei denn, das Verfahren wird an allen in Kalifornien verkauften Fahrzeugen praktiziert.</li><li>- Verdunstungsemissions-Kontrollanlage muß beim QAT angeschlossen sein, jedoch darf ein neuer Aktivkohlekanister vor Testbeginn eingebaut werden.</li><li>- die Vorkonditionierung vor dem QAT findet wie folgt statt: 1 x UDDS<sup>6)</sup>, dann „cold soak“, dann FTP-75 (= QAT).</li><li>- die Auswertung der Serienkontrolle erfolgt an Stichproben &gt;30 Fzge.</li><li>- Wenn die Mittelwerte der Emissionen (mit dem „deterioration factor“ multipliziert und CH<sub>4</sub>-korrigiert) die Grenzwerte überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen.</li><li>- Wenn mehr als 1% (mind. 2 Fzge.) der innerhalb einer Motorfamilien-Stichprobe getesteten Fahrzeuge Emissionen &gt;2,33 s<sup>7)</sup> zeigen, hat innerhalb von 10 Arbeitstagen Meldung an die Behörde zu erfolgen.</li></ul></li><li>● Berichtspflicht innerhalb von 45 Tagen nach Quartalsende. Angaben über Schwungmassenklasse, Straßenlast und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bericht verlangt.</li><li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li><li>● Keine Strafhöhe definiert. Festlegung der Höhe ist Sache des Gerichtes. Straffreiheit nur auf Verkäufe von Fahrzeugen bezogen, die den FT und SSET bestanden haben.</li></ul>	

Schwungmassenklasse und dem tatsächlichen Straßenfahrwiderstand der Testfahrzeuge sowie nach deren CO<sub>2</sub>-Emissionswerten gefragt (alle drei Fragestellungen stehen eindeutig im Zusammenhang mit dem "Fuel Economy"-Thema). Der Zeitraum bis zur Abgabe des Berichtes wurde von bisher 30 auf 45 Tage erweitert.

Die HC-Emissionswerte sollten vor wie auch nach Einrechnung des DF auf CH<sub>4</sub> korrigiert werden, wobei in letzterem Fall die Berechnung von  $\bar{x}$  und s erst nach DF-Multiplikation mit den einzelnen Testergebnissen zu erfolgen hatte. Bild III. 6-8 gibt eine Übersicht über

**Bild III.6-9:** Inhalt der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion von PKW mit Otto- und Diesel-Motoren sowie leichten und mittelschweren Nutzfahrzeugen für die Modelljahre 1980 und 1981, nach [872].

die wichtigsten Punkte des ab Modelljahr 1979



einsetzenden Serienkontrollgesetzes.

Mit der am 16.11.1978 angenommenen Regelung für die Modelljahre 1980 und 1981 wurden erstmals Pkw mit Diesel-Motoren in die Serienkontrollvorschriften einbezogen {872}.  
Sonst änderten sich gegenüber 1979 nur Kleinigkeiten. So war z. B. jetzt die Möglichkeit gegeben, beim "steady state"-Emissionstest die Lufteinblasung abzuschalten, um Fehler im Gesamtsystem besser erkennen zu können. Darüber hinaus mußten jede Reparatur und Einstellung berichtet werden, die vor irgendeinem CVS-Test an den Stichprobenfahrzeugen durchgeführt worden war. Bei der HC-Messung des QAT konnte, in Anlehnung an das Zertifizierungsverfahren, die "Methane Content Correction Factor" (MCCF) berücksichtigt werden.

Bei einer Motorfamilie die nach dem "non-methane HC-Standard" von 0.39 g HC/m zertifiziert wurde, hatte der Hersteller bei der Serienkontrolle die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten: a) der gemessene Gesamt-HC-Wert war mit dem "non-methane DF" und mit dem MCCF von 0.89 zu multiplizieren, oder b) der Hersteller mußte den Nicht-Methan-Gehalt der Fahrzeuge (entsprechende Geräte vorausgesetzt), der dann mit dem "non-methane DF" zu multiplizieren war, messen.

Bei einer Motorfamilie, die nach dem Gesamt-HC Standard von 0.41 g/m zertifiziert wurde, wurde der gemessene Gesamt-HC-Wert mit dem "total HC-DF" und dem MCCF von 0.89 multipliziert. Bild III. 6-9 zeigt die für Modelljahre 1980/81 in der Serienkontrollgesetzgebung eingeführten Änderungen.

#### 6.1.2 Geplante Verfahrensänderungen für Modelljahr 1982

Am 18.08.1978 wurden neue Vorschläge für die Serienkontrolle ab Modelljahr 1982 gemacht {873}. Bedeutendster Bestandteil dieser Vorschläge war die geplante Einführung eines sogenannten "loaded mode test". Dieser "3-mode test", der in Bild III. 6-10

Fahrzeug-Leergewicht + 300 lbs	Geschw.-/Last-Kombination [mph/HP]	
	Niedrig konstant	Hoch konstant
≥ 3801	32 ... 35 / 10 ... 12	48 ... 50 / 27 ... 30
2801 ... 3801	29 ... 32 / 8 ... 10	44 ... 46 / 21 ... 24
2000 ... 2800	22 ... 25 / 4 ... 6	36 ... 38 / 13 ... 15
≤ 1999	18 ... 21 / 2 ... 4	33 ... 35 / 7 ... 9

Bestimmung der HC-, CO- und NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im 3-mode-Test:  
Leerlauf - Niedrige Konstantfahrt - Hohe Konstantfahrt

**Bild III.6-10:** Der im Rahmen der Kalifornischen Vorschriften zur emissionsseitigen Überwachung der Serienproduktion ab Modelljahr 1982 vorgeschlagene „Loaded Mode Test“, der den bis dahin angewendeten „Steady State Emission Test“ (SSET, nur Leerlauf) ablöst und die Mitbestimmung von NO<sub>x</sub> erlaubt, nach [874].

wiedergegeben ist, sollte anstelle des bisherigen "steady state emission test" (Leerlauftest für 100 % der Serienfahrzeuge, der nur HC- und CO-Messung ermöglichte) eingeführt werden und auch Aussagen über das NO<sub>x</sub>-Kontrollsystem zulassen.

Die Kontrollgrenzwerte werden bei diesem Test pro Fahrzustand nach dem bekannten Verfahren ( $\bar{x}_i + 2 \cdot s_i$ ) für jede Schadstoffkomponente (i) an den ersten 100 Fahrzeugen jeder Motor- und Schwungmassenklassenfamilie bestimmt. Überschreitet ein Testfahrzeug diese Werte, so muß es untersucht werden. Es wird erst als "in compliance with the inspection requirements" befunden, wenn es entweder den Wiederholungstest nach Reparatur des Defektes bestanden hat, oder auch falls es - wenn kein Defekt gefunden wurde - den Wiederholungstest nicht besteht.

<b>Gesetz<sup>1)</sup> vom</b>	<b>18. 8. 1978</b>	<b>Gültig für:</b> PKW, leichte und mittelschwere Nutzfahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motoren und > 50 cu. in. Hubraum
<b>Einsatz ab</b>	<b>Modelljahr 1982</b>	
<b>Prüfart</b>	FT <sup>2)</sup> : Überprüfung von emissionsbezogenen Motorteilen oder Systemen TMET <sup>3)</sup> : HC-, CO- und NO <sub>x</sub> -Prüfung im Leerlauf sowie unter Belastung in zwei Konstantfahrzuständen auf einem Rollenprüfstand QAT <sup>4)</sup> : Zertifikations-test	
<b>Prüfumfang</b>	FT : 100% TMET : 100% QAT : mind. 2% <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;">             ( muß vor Durchführung eines Emissionstest bestanden werden )              Stichprobengröße [%] bezieht sich auf gesamte Quartalsproduktion einer Motorfamilie           </div>	
<b>Grenzwerte</b>	FT : Einstell- und Funktionsüberprüfung nach einer vom Hersteller vorab an die Behörde einzureichenden Checkliste TMET : „Kontrollgrenzwerte“; An den ersten 100 in diesem IT <sup>5)</sup> getesteten Fahrzeugen einer Motor-/Schwungmassenklassen-Familie $\bar{x}$ , s bestimmen. Der Kontrollgrenzwert wird dann: $K = \bar{x} + 2s$ (für jede Schadstoffkomponente) QAT : Zertifikationsstandards von Modelljahr 1982	
<b>Details</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bei Neubestimmung der „Kontrollgrenzwerte“ des TMET aufgrund von „running-changes“, die die Leerlauf-Emissionen beeinflussen, muß die Behörde innerhalb einer Woche informiert werden.</li> <li>● Bei der Festlegung der Kontrollgrenzwerte werden Emissionskontrollkonzepte mit und ohne Katalysator nicht mehr separat betrachtet</li> <li>● Anzeigepflicht der QAT-Emissionswerte auf Klebeschild („label“) am Fahrzeugfenster (bis 45 Tage nach Serienanlauf Angabe der höchsten Werte aus der Zertifizierungsflotte, danach Angabe des Durchschnitts-QAT-Ergebnisses aus dem vorangegangenen Quartal).</li> <li>● QAT nach „Mittelwert-Verfahren“ („modified averaging Option II“) des Modelljahres 1979:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nach dem IT darf kein Emissionstest vor dem QAT mehr gefahren werden, es sei denn, das Verfahren wird an allen in Kalifornien verkauften Fahrzeugen praktiziert.</li> <li>- Verdunstungsemissions-Kontrollanlage muß beim QAT angeschlossen sein, jedoch darf ein neuer Aktivkohlekanister vor Testbeginn eingebaut werden</li> <li>- Die Vorkonditionierung vor dem QAT findet wie folgt statt: 1 x UDDS<sup>6)</sup>, dann „cold soak“, dann FTP-75 (= QAT)</li> <li>- Die Auswertung der Serienkontrolle erfolgt an Stichproben &gt; 30 Fahrzeugen.</li> </ul> </li> <li>● Wenn die Mittelwerte der Emissionen (mit dem „deterioration factor“ multipliziert und CH<sub>4</sub>-korrigiert) die Grenzwerte überschreiten, fordert die Behörde Gegenmaßnahmen.</li> <li>● Wenn mehr als 1% (mind. 2 Fzge.) der innerhalb einer Motorfamilien-Stichprobe getesteten Fahrzeuge Emissionen &gt; 2,33 s<sup>7)</sup> zeigen, hat innerhalb von 10 Arbeitstagen Meldung an die Behörde zu erfolgen.</li> <li>● Berichtspflicht innerhalb von 45 Tagen nach Quartalsende. Gegenüber früheren Modelljahren (kraftstoffverbrauchs-bezogene) Angaben über Schwungmasse/Straßenlast und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bericht verlangt. Werden die Kontrollgrenzwerte des TMET überschritten, ist das Fahrzeug auf Defekte zu untersuchen und über die Defekte sowie Abhilfen zu berichten.</li> <li>● „Recht auf Zutritt und Beobachtung“ für die Behörde verankert.</li> <li>● Keine Strafhöhe definiert. Festlegung der Höhe war Sache des Gerichtes. Straffreiheit nur auf Verkäufe von Fahrzeugen bezogen, die den FT und TMET bestanden haben.</li> <li>● Der Hersteller wird aufgefordert, Alternativverfahren zur Feststellung von Defekten im Emissionskontrollsystem zu entwickeln.</li> </ul>	

1) Vorschlag; 2) FT = Functional Test; 3) TMET = Three Mode Emissions Test; 4) QAT = Quality Audit Test; 5) IT = Inspection Test = (FT + TMET); 6) UDDS = Urban Dynamometer Driving Schedule (= LA-4-Zyklus der FTP-75); 7) s = Standardabweichung.

1) Vorschlag; 2) FT = Functional Test; 3) TMET = Three Mode Emissions Test; 4) QAT = Quality Audit Test; 5) IT = Inspection Test = (FT + TMET); 6) UDDS = Urban Dynamometer Driving Schedule (= LA-4-Zyklus der FTP-75); 7) s = Standardabweichung.

**Bild III.6-11:** Inhalt der für die emissionsseitige Überwachung der Serienproduktion von PKW sowie leichten und mittelschweren Nutzfahrzeugen mit Otto- und Diesel-Motoren für Modelljahr 1982 von der Kalifornischen Behörde vorgeschlagenen Vorschriften, nach [873].

die Automobilhersteller auf, hier selbst effektive Lösungswege zu suchen. Die neuen Vorschläge des ARB für Modelljahr 1982 sind noch einmal in Bild III. 6-11 zusammengestellt.

### 6.1.3 Statistische Betrachtung des kalifornischen "Quality Audit Test" (QAT)

Die nachfolgenden Ausführungen werden in enger Anlehnung an die in {875} durchgeführten statistischen Betrachtungen gemacht, da diese statistischen Untersuchungen die wesentlichen Eigenschaften von Emissionstest-Verfahren in der Zertifikation und der Serie zusammenfassend durchleuchten.

#### 6.1.3.1 Der "Quality Audit Test" (QAT) als attributives Verfahren

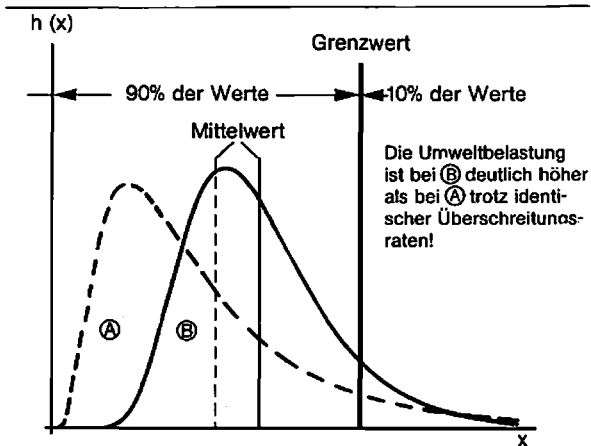
Die Luftqualität wird nach {876} nur von der Gesamtemission aller im Verkehr befindlichen Fahrzeuge bestimmt<sup>1)</sup>, wobei diese nach der Beziehung

$$x_{\text{gesamt}} = \sum_{j=1}^n x_j = n \cdot \bar{x} \quad (\text{und } x_g = n \cdot \mu \text{ für große } n)$$

nicht von der Art der Verteilung der Emissionswerte, sondern nur von der Stichprobengröße  $n$  und dem arithmetischen Mittelwert  $\bar{x}$  abhängig ist. Damit sollte nach {876} bei allen Serienprüfungen nur der Emissionsmittelwert der Stichprobe betrachtet werden.

<sup>1)</sup> Diese Annahme gilt nach Meinung d. Verf. jedoch nur bei weiträumiger Betrachtung!

Wie sich schon in den 1980er Gesetzen abzeichnete, strebt das ARB danach, die "end-of-line"-Inspektion zu verbessern, um eventuelle Fehler an den Serienfahrzeugen noch im Herstellerwerk aufzuspüren und abzustellen. In diesem Sinn erscheint jetzt in den 1982er Richtlinien auch erstmals ein Passus, der alternativen Testverfahren (zu den ARB-Vorschlägen) die behördliche Zulassung in Aussicht stellt, wenn diese eine gute oder bessere Schadenserkennerung ermöglichen, die an 100 % der Produktionsfahrzeuge eingesetzt werden kann. Das ARB fordert



**Bild III.6-12:** Zwei Dichtefunktionen logarithmischer Normalverteilungen mit identischen Überschreitungsrate von 10%, aber unterschiedlichen Mittelwerten, [876].

Wie Bild III. 6-12 zeigt, kann eine attributive Methode, die nur die Zahl der Fahrzeuge festlegt, die in ihren Emissionen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten dürfen, zu falschen Folgerungen führen: Obwohl das QAT-Kriterium einer maximal 10 %igen Grenzwertüberschreitung bei beiden Verteilungen erfüllt ist, unterscheidet sich die Lage des Mittelwertes der Emissionen beider Gruppen. Die Gruppe mit höher liegendem Mittelwert belastet eindeutig die Umwelt mehr als die bei gleicher Überschreitungsrate im Mittelwert niedriger liegende Gruppe [876].

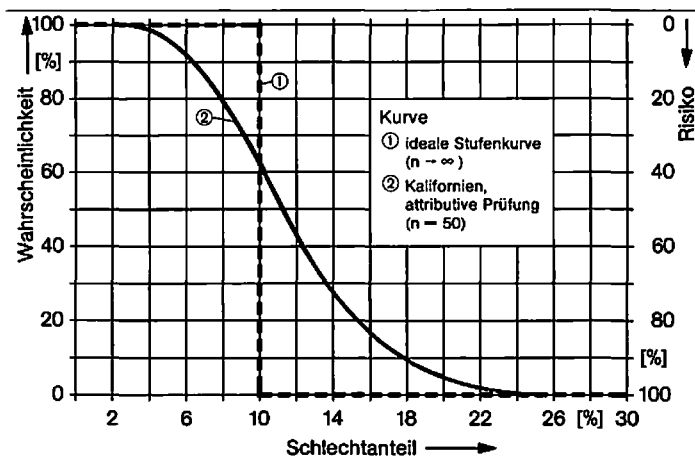
### 6.1.3.2 Die Operations-Charakteristik des attributiven Verfahrens

Die Effektivität eines Serienprüfverfahrens wird am übersichtlichsten durch die (bereits in Kap. 5.3.5.5 am US-Emissionstest detailliert hergeleitete) Operations-Charakteristik dargestellt. Für den hier zu diskutierenden QAT-Fall ist die Wahrscheinlichkeit ( $P$ ), die Prüfung mit einem bestimmten Schlechtanteil ( $p$ ) zu bestehen, gleich der Wahrscheinlichkeit, in einer Stichprobe ( $n = 2\%$ ) einer Quartalsproduktion höchstens  $n \cdot p$  "schlechte Fahrzeuge" zu finden.

Diese Wahrscheinlichkeit lässt sich mit Hilfe der Binomialverteilung berechnen:

$$P(p) = \sum_{i=0}^{n \cdot p} B(i, n, p) \text{ mit } B(i, n, p) = \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$$

Die Binomialverteilung ist eine diskrete Verteilung, die nur für ganzzahlige Werte  $i$  und  $n$  definiert ist.  $B(i, n, p)$  bestimmt die Wahrscheinlichkeit, in  $n$  Versuchen (hier Einzelprüfungen), genau  $i$  "schlechte" Fahrzeuge zu finden.

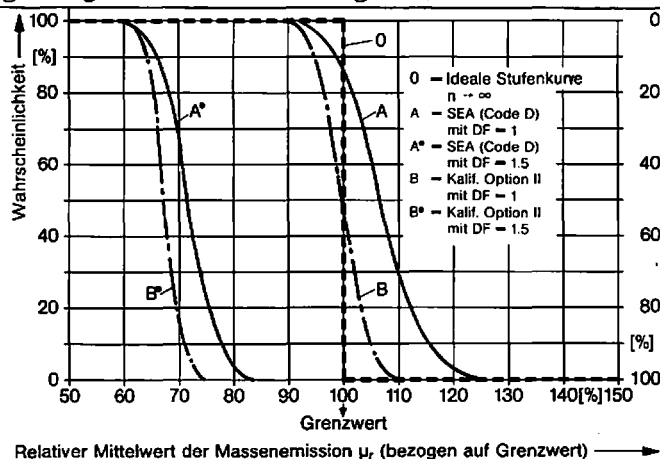


**Bild III.6-13:** Operationscharakteristik für die attributive Kalifornien-Prüfung (Option I). Wahrscheinlichkeit als Funktion des Schlechtanteils in der Grundgesamtheit, [877].

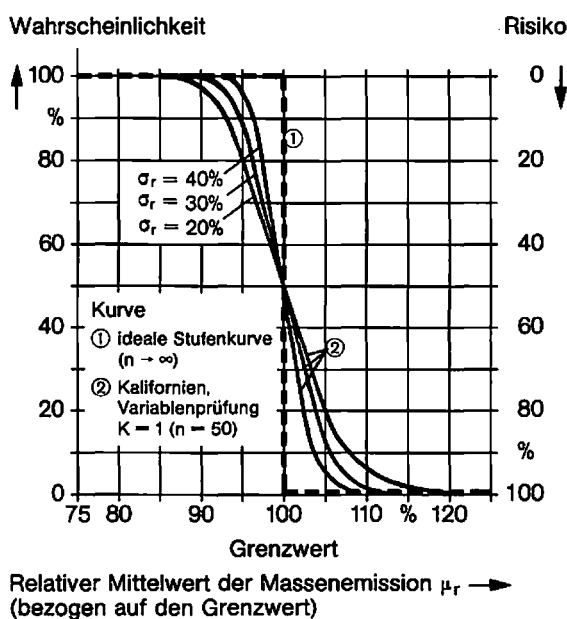
Die so für  $n = 50$  Fahrzeuge berechnete OC des attributiven QAT-Verfahrens ist in Bild III. 6-13 zusammen mit der idealen Stufenkurve ( $n \rightarrow \infty$ ) dargestellt. Sie gibt die Bestehenswahrscheinlichkeit (und das Risiko nicht zu bestehen) als Funktion der in der Stichprobe gefundenen "Versagerquote" ( $p$ ) wieder und zeigt, daß beim gesetzlich erlaubten Schlechtanteil von 10 % nur eine Bestehenswahrscheinlichkeit von 63 % existiert. Will man die Prüfung mit 95 %iger Sicherheit bestehen, darf dieser Schlechtanteil nur  $\approx 5\%$  betragen.

### 6.1.3.3 Der "Quality Audit Test" (QAT) als Variablenprüfung und seine Operations-Charakteristik

Die ab Modelljahr 1977 eingeführte sogenannte Option II der kalifornischen Serienprüfung benutzt die Mittelwerte der im Quartal angefallenen Meßwerte einer Motorfamilie als Kriterium: Für jede Schadstoffkomponente muß der Mittelwert unter dem jeweils gültigen Grenzwert liegen (wobei Methankorrektur und Verschlechterungsfaktoren zu berücksichtigen sind, wie in Kap. 6.1.1 ausführlich erläutert wurde).



**Bild III.6-14:** Operationscharakteristiken des Serienkontrollverfahrens der US-EPA („SEA“-Verfahren) sowie des Kalifornischen ARB (Variablen-Prüfung – „Option II“) mit Einfluß des „Deterioration Factor“ (DF) aus der Zertifizierung, [878].



**Bild III.6-15:** Operationscharakteristiken für die Kalifornien-Prüfung (Option II), Variablenprüfung, [879].

In Bild III. 6-15 sind OC-Kurven für die obengenannte Option II für drei verschiedene Standardabweichungen gezeigt (der Verschlechterungsfaktor wurde mit 1 angenommen). Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeit als Funktion des wahren Mittelwertes  $\mu$ , bezogen auf den Grenzwert. Im wesentlichen bestimmt die relative Standardabweichung die Kurvenneigung, d. h. mit größer werdender Streuung der Meßwerte, z. B. von  $s = 20\%$  auf  $s = 30\%$ , verschlechtert sich (bei einem angenommenen Sicherheitsabstand des wahren Mittelwertes vom Grenzwert von  $\approx 7\%$ ) die Annahmewahrscheinlichkeit, d. h. die

Diese Variablenprüfung vermeidet die unter Kap. 6.1.3.1 genannten Nachteile. In Bild III. 6-14 ist das Verfahren mit und ohne Anwendung eines Verschlechterungsfaktors (DF) aus der Zertifizierung dargestellt. Für die Variablenprüfung geht man bei der Berechnung der OC von der Wahrscheinlichkeit (P) aus, die Prüfung zu bestehen und berechnet den zugehörigen Abstand des Stichprobenmittelwertes ( $\bar{x}$ ) vom Grenzwert (x). Die Prüfbedingung lautet also:

$$x \leq x_G$$

Unter der Voraussetzung konstanter relativer Standardabweichung muß folgende Bedingung eingehalten werden, um diese Prüfbedingung zu erfüllen:

$$\mu + \frac{z_p \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \leq x_G$$

Im Grenzfall ergibt sich daraus für die Lage des wahren Mittelwertes:

$$\mu = \frac{x_G}{1 + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} + z_p}$$

Bestehensweise von  $\approx 90\%$  auf  $\approx 80\%$ .

#### 6.1.4 "Compliance Testing" durch das kalifornische ARB ("Title 13"-Tests)

Kalifornien initiierte nicht nur das erste Emissionskontrollsystem-Zertifikationsprogramm und die ersten Serienkontrollvorschriften für die Automobilindustrie, sondern führte auch die ersten "Compliance Testing"-Vorschriften ein. Unter "Compliance Testing" versteht man die Anforderung und Nachprüfung von Fahrzeugen durch die kalifornische Behörde. Die Fahrzeuge werden z. B. im Falle von Daimler-Benz aus dem "Vehicle Preparation Center" (VPC) in Los Angeles vom ARB abgerufen. Vor Abgabe an die Behörde darf der Hersteller die normalerweise üblichen "pre-delivery" Überprüfungen und Einstellungen, aber keine Emissionstests durchführen.

Diese Nachkontrolle durch die Behörde stellt also eine stichprobenweise Ergänzung der herstellerinternen emissionsseitigen Überwachung von serienmäßig produzierten Fahrzeugen und damit ein weiteres Gebiet dar, auf dem sich der Automobilhersteller bemühen muß, behördlichen Anforderungen im Rahmen der Emissionskontrolle zu entsprechen.

Gesetzliche Grundlagen für die obengenannten behördlichen Nachprüfaktivitäten ist der "California Administrative Code" mit seinem "Title 13" ("Motor Vehicles"). Die hier interessierenden Vorschriften dieses "Title 13" finden sich in "Subchapter 2, Art. 2, Chapter 3, Sec. 2101", und wurden am 03.03.1973 mit Einsatzdatum ab Modelljahr 1974 verabschiedet.

##### 6.1.4.1 Das kalifornische "Compliance Testing" bis einschließlich Modelljahr 1976

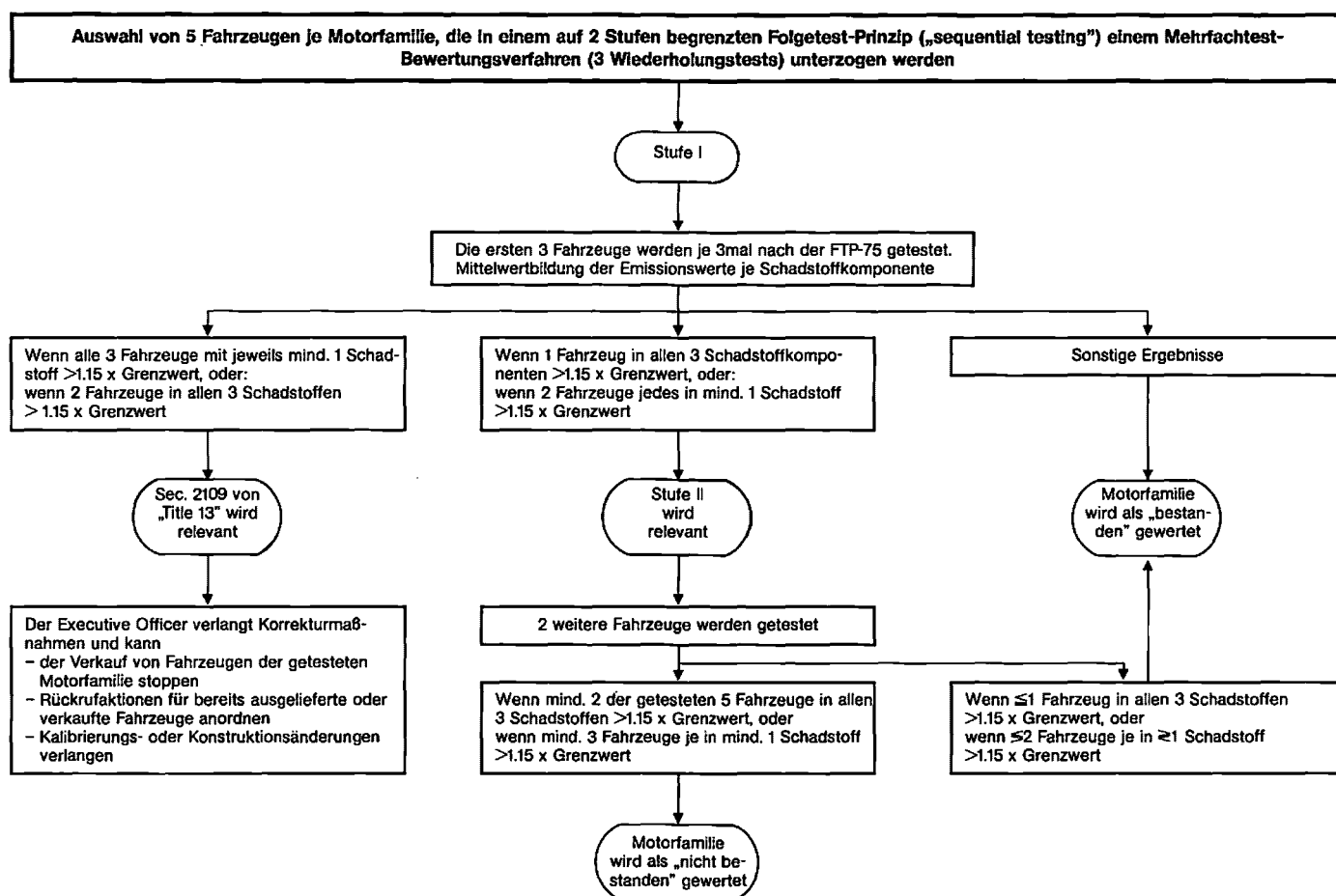
Das CARB führt aufgrund der im vorigen Kapitel genannten gesetzlichen Grundlage ab Modelljahr 1975 Nachprüfungen an neuen Serienfahrzeugen des Automobilherstellers im Behördenlabor in El Monte (Los Angeles) durch. Ziel des Programmes ist es, sicherzustellen, daß (gemäß den entsprechenden Serienkontrollvorschriften) mindestens 90 % der Fahrzeuge einer jeden Motorfamilie die kalifornischen Grenzwerte erfüllen. Diese Nachprüfungen sind auch unter dem Namen "Title 13-Testing" bekannt, wobei zwischen einem früheren und einem neueren Verfahren zu unterscheiden ist.

Bei dem früheren Verfahren (bis Modelljahr 1976) handelt es sich um ein 2-Stufen-Programm, das pro Motorfamilie maximal 5 Fahrzeuge umfaßte {880}. Der aus drei aufeinanderfolgenden nach der FTP-75 durchgeführten Abgastests berechnete Emissionsmittelwert wurde mit dem jeweiligen Zertifikationsstandard verglichen. Das Testfahrzeug galt als "nicht bestanden", wenn der Mittelwert einer Schadstoffkomponente den Zulassungsgrenzwert um mehr als 15 % überschritt.

Im ersten Programmschritt wurden drei Fahrzeuge getestet. Wenn mindestens ein Fahrzeug den Grenzwert bei allen drei Schadstoffkomponenten, oder wenn mindestens von zwei Fahrzeugen jedes mindestens einen Grenzwert überschritten hatte, folgte der zweite Programmschritt. Waren die genannten Versagerquoten jedoch nicht eingetreten, folgte die Behörde, daß ein Anteil von mindestens 90 % der Serienproduktion in

allen drei Schadstoffkomponenten unter den zulässigen Grenzwerten lag (wie es das Gesetz fordert).

Im zweiten Schritt wurden zwei weitere Fahrzeuge getestet. Wenn mindestens zwei aller fünf Fahrzeuge in allen drei Komponenten nicht bestanden hatten, oder wenn mindestens von drei Fahrzeugen jedes wenigstens einen Grenzwert überschritten hatte, wurde die Motorfamilie als "nicht bestanden" gewertet. Die Behörde machte dann Abhilfemaßnahmen (gemäß Sec. 2109 von "Title 13") zur Auflage. Wenn höchstens ein Fahrzeug alle drei Grenzwerte überschritten hatte, oder wenn höchstens zwei Fahrzeuge einen oder mehrere Grenzwerte nicht erfüllt hatten, galt die Motorfamilie als "bestanden". Das Ablaufschema dieses Verfahrens ist in Bild III. 6-16 gezeigt.



**Bild III.6-16:** Das „California Audit Program“, bekannt als „Title 13 – Testing“ zur Nachkontrolle von neuen Serienfahrzeugen (vor Auslieferung an den Händler) durch das Kalifornische „Air Resources Board“ (ARB) bis einschließlich Modelljahr 1976, nach [880].

Das zuvor geschilderte Verfahren beinhaltet jedoch folgende Ungereimtheiten [881]:

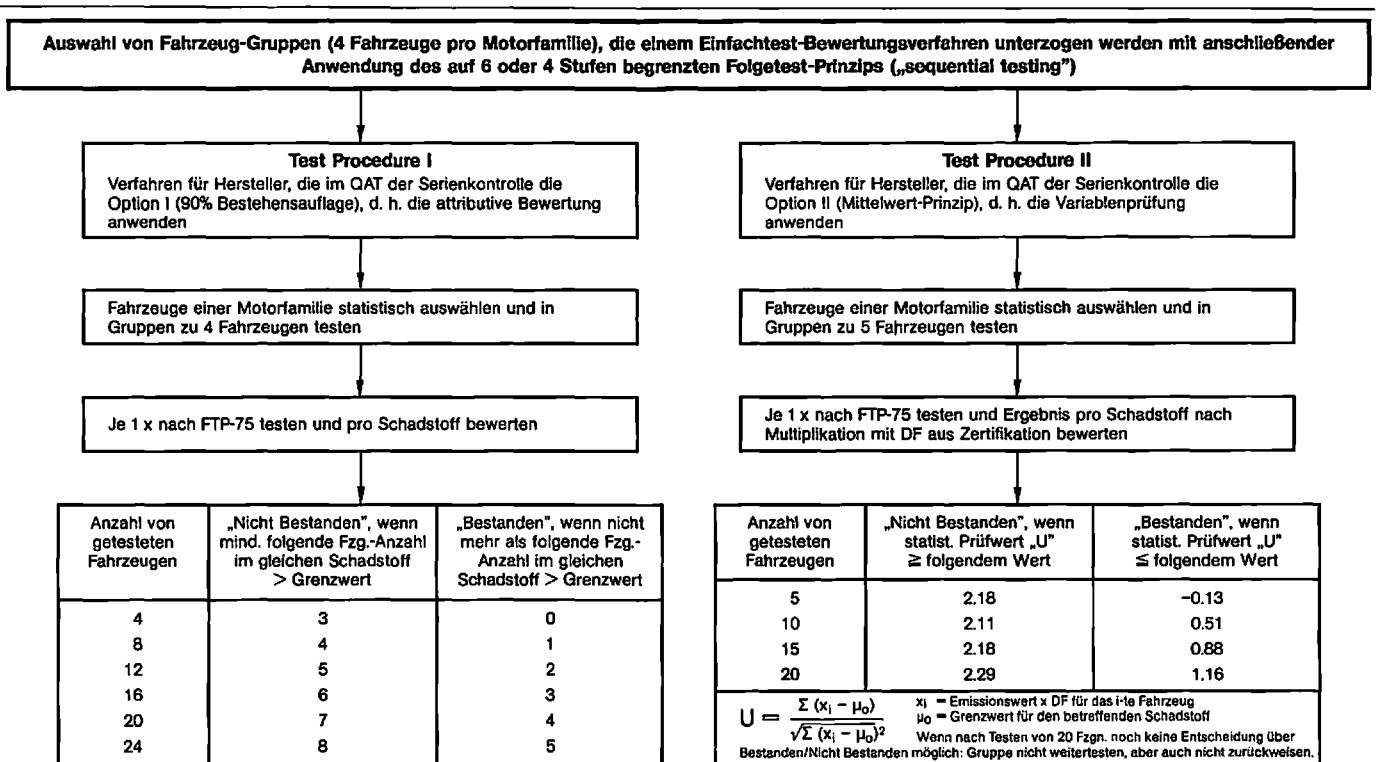
- Wenn z. B. eines von fünf Fahrzeugen alle drei Grenzwerte überschritt, hatte die Motorfamilie bestanden. Wenn drei von fünf Fahrzeugen je einen (unterschiedlichen) Grenzwert überschritten, hatte die Motorfamilie nicht bestanden. In beiden Fällen lag jedoch für jeden Schadstoff eine Versagerquote von 20 % vor.
- Ein weiteres Problem war die ungleiche Verteilung der Ablehnungs- oder Annahmewahrscheinlichkeit zwischen Behörde und Automobilhersteller. Falls die tatsächliche Versagerquote in der Serie für einen Schadstoff 10 % betrug (gesetzlich

erlaubte Grenze) bestand nur eine Wahrscheinlichkeit von < 1 %, daß die Motorfamilie im "Title 13"-Test von der Behörde als abzulehnen entdeckt wurde. War jedoch die tatsächliche Versagerquote in der Serie für einen Schadstoff > 50 %, so bestand immerhin noch eine 50 %ige Chance für den Automobilhersteller, den Nachprüfstest zu bestehen. Die Behörde hatte daher nur geringe Aussichten, eine fehlerhafte Motorfamilie zu entdecken, es sei denn der Fehler trat massiv und fortdauernd auf.

- c) Als letztes Problem ist zu erwähnen, daß die oben genannte Methode auf der Bewertung des "Ausschußanteiles" innerhalb einer Motorfamilie (entsprechend der attributiven 90 %/10 %-Bewertung bei Option 1 des Serienkontrollverfahrens) basierte, und daher für Hersteller, die die ab Modelljahr 1977 eingeführte Option II des "averaging"-Prinzips (Mittelwertbildung -Variablenprüfung) anwenden wollten, nicht mehr funktionieren konnte.

#### 6.1.4.2 Das kalifornische "Compliance Testing" ab Modelljahr 1977

Aus den zuvor genannten Gründen stellte die kalifornische Behörde ihr Nachtestverfahren ab Modelljahr 1977 auf eine veränderte statistische Basis [882]. Bei dieser neuen Methode wurden - in Anlehnung an die zwei existierenden Serienkontroll-Optionen - zwei Verfahren ("Test Procedures") unterschieden. Die zur Option I (90 % Bestehensauflage) gehörende "Test Procedure I" und die Option II (Mittelwertbildung) gehörende "Test Procedure II" sind in Bild III. 6-17 veranschaulicht. Die neue Vorschrift wurde am 24.06.1976 in Sec. 2101 von "Title 13" des "California Administrative Code" angenommen.



**Bild III.6-17:** Das „California Audit Program“, bekannt als „Title 13 – Testing“ zur Nachkontrolle von neuen Serienfahrzeugen (vor Auslieferung an den Händler) durch das Kalifornische „Air Resources Board“ (ARB) ab Modelljahr 1977, nach [883].

Generell gilt für beide "Test Procedures", daß Meilenakkumulation an "Title 13-Test-Fahrzeugen" nur dann erfolgen darf, wenn diese an allen Serienfahrzeugen durchgeführt wird. Sonstige vorbereitende Arbeiten an den zur behördlichen Nachprüfung ausgewählten Fahrzeugen sind erlaubt, wenn diese notwendig sind, um die Fahrzeuge in Übereinstimmung mit den schriftlichen Anweisungen des Herstellers für die "Vor-Auslieferungs-Vorbereitungen" ("pre-delivery preparation") zu bringen.

Obwohl auch das im vorigen Kapitel beschriebene Verfahren im Grunde ein Folgetestplan-Verfahren ("sequential testing") war, das in diesem Fall jedoch nur aus zwei Schritten bestand, überwog dort noch die Tendenz einer Mehrfachtestung des gleichen Fahrzeuges. Ein solches Mehrfachtesten schafft zwar ein größeres Vertrauen in das am Einzelobjekt ermittelte Testergebnis, erhöht aber die Aussagesicherheit für die Gesamtserie nicht. Die ab Modelljahr 1977 einsetzende "Test Procedure II" verläßt sich auf Einzelmeßergebnisse, erhöht aber als echtes Folgetestplan-Verfahren die Anzahl der getesteten Fahrzeuge und damit die Aussagesicherheit für die Gesamtproduktion. Nach jedem Einzeltest ist die Entscheidung zwischen

- Motorfamilie hat bestanden
- Motorfamilie hat nicht bestanden
- Tests sind fortzusetzen

zu treffen. Dieses "sequential testing" ist hinsichtlich der zum Erreichen eines gewünschten Vertrauensniveaus notwendigen Testzahl höchst effektiv, und es erlaubt mit minimaler Anzahl von Messungen, grobe Fehler zu entdecken oder klare positive Aussagen zu erreichen {884}.

#### 6.1.5 Die "Dealership Surveillance" durch das kalifornische ARB

Als letztes Glied in der Kette der gesetzlich begründeten Überwachung von Serienfahrzeugen, ist die Nachprüfung von neuen Fahrzeugen beim Automobil-Händler anzusehen, wie sie vom kalifornischen ARB seit 1974 durchgeführt wird. Während des Kalenderjahres

Überprüftes Teil/System	Überprüfungsart/Spezifikation													
Zündzeitpunkt	Nach Herstellerangabe ( $\pm 3^\circ$ )													
Leerlaufdrehzahl	Nach Herstellerangabe ( $\pm 100$ U/min)													
Auspuff- und Verdunstungsemissionskontrollsysteme	Funktionscheck													
Unterdruckleitungen und elektrische Verkabelung	Korrekte Anschlüsse und Verlegung													
Leerlaufgemisch-Einstellung	<p>Nach Herstellerangabe</p> <p>(Wenn kein CO-Wert vom Hersteller vorgeschrieben ist, und die folgenden Werte überschritten werden, soll gemäß Herstellerangabe Neueinstellung unter die folgenden Tabellenwerte erfolgen:</p> <table><tr><th>Hersteller</th><th>Zyl.-zahl</th><th>CO [Vol. %]</th></tr><tr><td rowspan="2">US-Hersteller</td><td>IV 4</td><td>2.0</td></tr><tr><td>IV 5</td><td>1.5</td></tr><tr><td rowspan="2">Importeure</td><td>IV 4</td><td>4.0</td></tr><tr><td>IV 5</td><td>3.0</td></tr></table>	Hersteller	Zyl.-zahl	CO [Vol. %]	US-Hersteller	IV 4	2.0	IV 5	1.5	Importeure	IV 4	4.0	IV 5	3.0
Hersteller	Zyl.-zahl	CO [Vol. %]												
US-Hersteller	IV 4	2.0												
	IV 5	1.5												
Importeure	IV 4	4.0												
	IV 5	3.0												

1974 konnte das ARB seine Kontrollen nur in Begleitung von Vertretern des "Bureau of Automotive Repair" (BAR) durchführen, da nur das BAR ein Recht auf Zutritt zu Einrichtungen von Händlern hatte. Erst mit Inkraftsetzung der Sec. 39097 des "California Health and Safety Code" am 01.01.1975 bekam auch das ARB dieses Zutrittsrecht {885}.

**Bild III.6-18:** Die Einstell- und Überprüfungsvorschriften der Section 2151 von „Title 13“ des „California Administrative Code“ für die Kontrolle von Neufahrzeugen beim Automobil-Händler durch das Kalifornische ARB, nach [885].

Am 14. Mai 1975 verabschiedete das ARB dann eine Neufassung der bis-



her zum Thema "Nachprüfung von Neufahrzeugen beim Händler" zu allgemein gehaltenen Sec. 2150 (c) im "Title 13" des "California Administrative Code" und führte diese Neuregelung als Sec. 2151 ein. Bild III. 6-18 faßt die Vorschriften dieser Section zusammen. Die Behörde war gemäß Sec. 39097 des "California Health and Safety Code" ermächtigt, Inspektionen bei Händlern und jede Art von Nachprüftests (z. B. Funktionsprüfungen und Konstantfahrttests) an Neufahrzeugen vor deren Verkauf durchzuführen. Die Kosten für diese Aktivitäten müssen gemäß Sec. 39097 und 39152.5 des "California Health and Safety Code" vom Automobilhersteller übernommen werden. Dem Händler und dem Automobilhersteller werden Sanktionen, wie z. B. Zivilstrafen angedroht, wenn die geprüften Fahrzeuge nicht den Emissionskontrollvorschriften entsprechen.

Gleichzeitig mit Sec. 2151 wurde auch Sec. 2152 angenommen, die sich auf die Überwachung von gebrauchten Fahrzeugen beim Händler bezog. Obwohl die Nachprüfung von gebrauchten Fahrzeugen hier nicht Gegenstand der Betrachtungen ist, da sie thematisch in das (bereits in Teil II, Kap. 8 am Beispiel der US-EPA Aktivitäten behandelte) Gebiet "Feldüberwachung" gehört, muß kurz auf die Verbindung von Sec. 2151 mit Nach-

prüfungen an Gebrauchtfahrzeugen hingewiesen werden.

Phase	Zeitraumen	Projekt
0	1974 bis 1975	Programmfestlegung
I	1975 bis 1978	Versuchs-Inspektionsprogramm mit freiwilliger Instandsetzung („Riverside-Project“)
II	ab Jan. 1979	Ausgedehntes Inspektionsprogramm für alle Fahrzeuge bei Besitzerwechsel und vorgeschriebener Instandsetzung bei Defekten ( $\approx 1,2 \times 10^6$ Fzge./Jahr betroffen)
III	ab Jan. 1981	Volles Inspektionsprogramm aller Fahrzeuge im „South Coast Air Shed“ (SCAS) vor jährlicher Registrierung

**Bild III.6-19:** Das Kalifornische „Motor Vehicle Inspection Program“ (MVIP), dessen Grenzwerte für die Leerlaufüberprüfung (HC, CO) mit denen des „New Motor Vehicle Dealership Surveillance“-Programms des ARB vereinheitlicht wurden, nach [886].

Am 02.10.1973 wurde mit "Senate Bill 479" eines der umfangreichsten Projekte zur Überprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen durch die kalifornische Behörden eingeleitet: das sogenannte "Motor Vehicle Inspection Program" (MVIP) [886]. Es gliedert sich in die in

Bild III. 6-19 gezeigten Phasen und ist mit seiner dritten Stufe für Kalifornien "lebensnotwendig", um die in den "Clean Air Act Amendments" von 1977 vorgesehene Aufschubmöglichkeit beim Erreichen der Oxidantien- und CO-Luftqualitätsstandards wahrnehmen zu können. Bedingung für einen derartigen Aufschub bis 1987 war, daß die sogenannten "non-attainment areas" (d. h. Gebiete, die die nationalen Luftqualitätsstandards nicht termingerecht zum Jahr 1982 erreichen können, wie z. B. das Kalifornische "South Coast Air Shed", SCAS) ein "Inspection and Maintenance Program" realisieren. Stufe III des kalifornischen MVIP entspricht diesem Kriterium.

Um nun bei der eingangs zitierten Überprüfung von Neufahrzeugen beim Händler mit dem MVIP konsistent zu sein, wurden im November 1978 die am 31.10.1978 für die Leerlaufprüfung innerhalb des MVIP vorgeschlagenen HC- und CO-Grenzwerte auch für die Neufahrzeugekontrolle (Sec. 2151) übernommen.

## 6.2 USA - 49 Staaten

Obwohl die US-Umweltschutzbehörde schon seit 1968 (damals noch als DHEW) durch eigene - im Anschluß an die offiziellen Zulassungstests durchgeführte - Verfolgung des Verhaltens der zur Zertifizierung von den Automobilherstellern ins Behördenlabor angelieferten Fahrzeuge erkannt hatte, daß ein markanter Unterschied zwischen dem Funktions- und Emissionsverhalten dieser Prototypen aus "Entwicklungsfertigung" und Serienfahrzeugen sowie Fahrzeugen im Feldeinsatz bestand, konzentrierten sich in den ersten 10 Jahren der US-49 Staaten-Emissionskontrollgesetzgebung die praktisch anwendbaren Vorschriften ausschließlich auf Zertifizierungsfahrzeuge. Erst etwa 5 Jahre nach den Serienkontroll-Bemühungen des kalifornischen ARB begannen entsprechende EPA-Aktivitäten deren Entstehung, Entwicklung und Eigenschaften nachfolgend untersucht werden sollen.

### 6.2.1 Historische Entwicklung der 49-Staaten Serienkontroll-Vorschriften

Basierend auf den kalifornischen Erfahrungen mit der emissionsseitigen Überwachung von neuen Serienfahrzeugen, die zum Teil Versagerquoten von 50 % gezeigt hatten, und auch aufgrund eigener ähnlicher Erkenntnisse, veröffentlichte die US-EPA am 31.12.1974 im "Federal Register" eine "Notice of Proposed Rulemaking" (NPRM) {887}. Diese Ankündigung einer beabsichtigten Gesetzesänderung ist in der Bundes-Gesetzgebungsweise stets der erste Schritt auf dem Weg zu einem neuen Gesetz. Es wurde eine Kommentarfrist bis zum 03.03.75 gegeben, wobei diese nach Einsprüchen wegen nicht ausreichender Vorbereitungszeit seitens der betroffenen Automobilindustrie bis zum 17.04.1975 verlängert wurde. Dieses erste Vorschlagsstadium des sogenannten "Selective Enforcement Auditing" (SEA)-Verfahrens zur Serienkontrolle beinhaltete gravierende Verschärfungen gegenüber den bisherigen Zuständen. Die wesentlichsten Gedanken dieses Vorschlags seien daher nachfolgend kurz diskutiert.

Während im kalifornischen Serienkontrollverfahren anfangs (Modelljahr 1975 bis 1978) der "deterioration factor" (DF) aus dem Zertifikationsverfahren nur zur Information mit angegeben werden mußte, verlangte der EPA-Vorschlag eine sofortige rechnerische Einbeziehung dieses DF. Die Serienfahrzeuge sollten nicht nur die gültigen Abgasgrenzwerte (Zertifikationsstandards), sondern erheblich schärfere Werte, die sogenannten "low mileage targets" (LMT) erfüllen. Das jeweilige LMT errechnete sich hierbei aus den gültigen Zertifikationsstandards wie folgt:

$$\text{LMT} = \frac{\text{Zertifikations-Grenzwert}}{f_{1,2} \cdot \text{DF}} \quad [\text{g/m}]$$

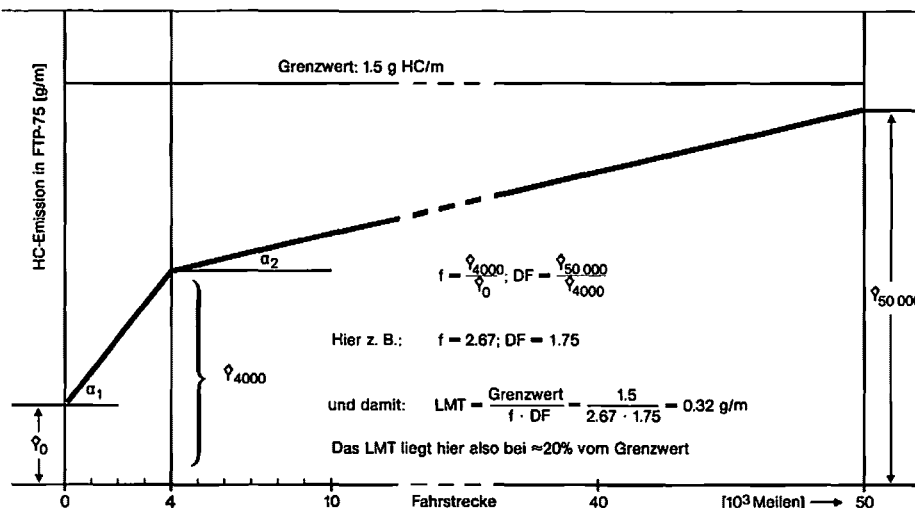
Hierbei ist das LMT der vom neuen Serienfahrzeug zu unterschreitende Grenzwert und  $f_{1,2}$  beschreiben die Verschlechterung des Neufahrzeuges im Bereich von 0 bis 4.000 Meilen. Der DF ist der im Zertifikationsdauerlauf ermittelte Verschlechterungsfaktor für den Bereich von 4.000 bis 50.000 Meilen. Diese Aufteilung des Verschlechterungsverhaltens von Neufahrzeugen wurde im Hinblick auf die ab Modelljahr 1975 einsetzen-

de Katalysatortechnologie gemacht. Katalysatorkonzepte - so nahm die EPA an - verschlechtern sich im Wirkungsgrad anfangs stärker und mit zunehmender Lebensdauer schwächer. Für die Festlegung der obengenannten Verschlechterungsfaktoren im Einlaufbereich (0 bis 4.000 Meilen) waren drei Alternativen möglich.

Die erste Möglichkeit bestand in der Anwendung des 0 bis 4.000 Meilen-Faktors ( $f_1$ ), wie er sich aus den Daten des Zertifikationsdauerlaufes herleiten läßt.

Anstelle dieses, nach abgeschlossener Zertifizierung bereits bekannten Faktors  $f_1$ , konnte der Hersteller auch einen Faktor ( $f_2$ ) an seinen Serienfahrzeugen ermitteln und zur Genehmigung bei der EPA einreichen. Er konnte hierbei jede beliebige Laufstrecke zwischen 0 und 4.000 Meilen zugrundelegen. Die Ermittlung des Faktors  $f_2$  unterscheidet sich von der  $f_1$ -Bestimmung darin, daß bei Zertififikationsläufen (d. h. bei der daraus herleitbaren Berechnung von  $f_1$ ) nur jeweils zwei Meßwerte (bei 0 und 4.000 Meilen) vorliegen. Außerdem würde hier dann erstmals der Null-Meilentest, der sonst nie zur Regressionsrechnung herangezogen wird, sondern nur den Charakter eines Funktionstestes hatte, in der Rechnung verwendet. Bei den Läufen an Serienfahrzeugen (d. h. bei der Bestimmung von  $f_2$ ) lägen jedoch beliebig viele Zwischenschritte vor, und  $f_2$  wäre somit freier bestimmbar.

Als dritte Möglichkeit konnte der Hersteller ganz auf einen Faktor verzichten, indem er alle Fahrzeuge bis auf 4.000 Meilen einlaufen ließ und damit sowohl den "green engine effect" (d. h. das noch nicht stabilisierte Emissionsverhalten eines neuen Motors) wie auch die anfänglich stärkere Katalysatorverschlechterung berücksichtigt



hätte. Dieses Verfahren muß jedoch für eine Serienproduktion als undurchführbar angesehen werden. In Bild III. 6-20 ist anhand eines fiktiven Beispiels die Berechnung des LMT veranschaulicht und dieses mit dem Zertifikationsstandard des Modelljahres 1975 verglichen.

**Bild III.6-20:** Beispiel einer Berechnung des „Low Mileage Target“ (LMT), das im zunächst von der US-EPA ab Modelljahr 1975 geplanten Serienkontrollverfahren von neuen Fahrzeugen hätte erfüllt werden müssen.

Der entscheidende Punkt im ersten SEA-Vorschlag der

EPA war jedoch die Festlegung des "acceptable quality level" (AQL) auf 10 %, d. h. maximal 10 % der Serienfahrzeuge durften "Versager" sein und das LMT überschreiten. Hierzu wurde aber bereits in der obengenannten NPRM angedeutet, daß es empfehlenswerter sein mag, zunächst mit einem höheren AQL zu beginnen, und diesen mit zunehmender Erfahrung zu verschärfen. Es wurde auch vorgeschlagen, bei Verschärfung der Zertifikationsstandards wieder mit einem höheren AQL zu beginnen und später auf einen

niedrigeren AQL überzugehen. Als Endziel der EPA war in jedem Fall ein AQL von 10 % genannt {888}.

Um das geplante SEA-Verfahren entbrannte eine heftige Diskussion zwischen der Automobilindustrie und der EPA, die sich besonders auf den AQL und die rechtliche Frage konzentrierte, ob der Kongreß bei Festschreibung des "Clean Air Act" wirklich beabsichtigt und klar genug formuliert hatte, daß nicht nur jedes einzelne Zertifikationsfahrzeug, sondern auch jedes einzelne Serienfahrzeug die Zertifizierungsgrenzwerte über seine gesamte Lebenszeit einzuhalten habe. Dieser Standpunkt wurde von der EPA vehement vertreten, was sich auch in der späteren Verabschiedung eines attributiven Verfahrens der Serienkontrolle (im Gegensatz zur Mittelwertbildung) ausdrückt. Als Einsatztermin der neuen Serienkontrollvorschriften war zunächst der Beginn des Modelljahres 1976 genannt {889}.

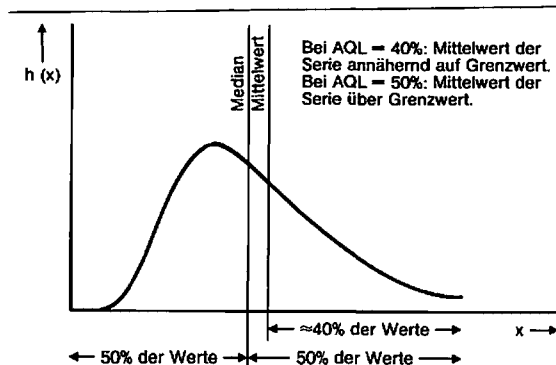
Nachdem zwei Handelsorganisationen, zwei Bundesbehörden und 17 Automobilhersteller schriftliche Kommentare zu den EPA-Vorschlägen eingereicht hatten, fanden auf Wunsch von GM und Ford am 07.05.1975 und am 20.05.1975 informelle Treffen zwischen der EPA und diesen Herstellern statt, um die Gegenargumente durchzusprechen. Danach wurden eine neue öffentliche Kommentierungsfrist eingeräumt und am 09.06.75 ein öffentliches Hearing im "Federal Register" angekündigt. Das Hearing begann am 22.07.1975 und dauerte unter Teilnahme von AMC, Chrysler, Ford, GM und VW zwei Tage. Auch nach diesen Hearings konnten noch Eingaben zum SEA-Vorschlag gemacht werden {890}.

An dieser Stelle soll auf die "Querwirkung" von EPA-Hearings hingewiesen werden: In den Aufschub-Hearings für die 1977er Zertifizierungsgrenzwerte hatte die EPA unter Zuhilfenahme der "subpoena"-Möglichkeiten (d. h. Aufforderung zum Einreichen von Informationen unter gleichzeitiger Androhung von Strafe im Falle des Nichtbefolgens dieser Aufforderung) unter vielem anderen auch Daten über herstellereigene Emissionsmessungen an Serienfahrzeugen angefordert ("in-house" Messungen und Daten aus der kalifornischen Serienkontrolle). Die EPA bestätigt in {891}, daß

"... these data had been subpoenaed by EPA  
specifically because of its potential relevance to this (SEA) program"

Die mehrmonatigen harten Diskussionen führten schließlich dazu, daß die EPA am 28.07.1976 eine wesentlich veränderte Fassung ihres ehemaligen SEA-Vorschlages in Kraft setzte {892}. Dieses endgültige Verfahren, das nachfolgend näher betrachtet wird, unterscheidet sich vom Ursprungsvorschlag hauptsächlich in der Festlegung eines AQL von 40 %, der - so EPA - fast den derzeitigen Qualitätsstandard der Automobilhersteller widerspiegelte und damit kaum zu Zertifikatsstornierungen und Stopps der Serienproduktion führen sollte.

Dieser AQL kam einem "averaging" de facto nahezu gleich, die EPA hatte jedoch keinen exakten "averaging"-AQL (50 %) spezifiziert, da es allgemein anerkannt war, daß



**Bild III.6-21:** Praktische Bedeutung eines „Acceptable Quality Level“ (AQL) von 40% bei Vorhandensein einer logarithmischen Normalverteilung, nach [893].

sich die Emissionen von Serienfahrzeugen nicht "normalverteilt", sondern nahezu "log-normalverteilt" verhalten. Die Anwendung eines AQL von 50 % hätte daher gemäß Bild III. 6-21 mehr als der Hälfte der Serienfahrzeuge ein Überschreiten des Zertifikationsstandards erlaubt.

Die von den Herstellern alternativ vorgeschlagenen Serienkontrollverfahren (meist eigene "in-house"-Verfahren) wurden von der EPA abgelehnt, da sie erstens alle auf exaktem "averaging" beruhten, was nicht mit EPA's Interpretation des "Clean Air Act" konsistent war und zweitens meist eine Normalverteilung zugrundelegten, die nicht nur nach Ansicht der EPA unlogisch war [894].

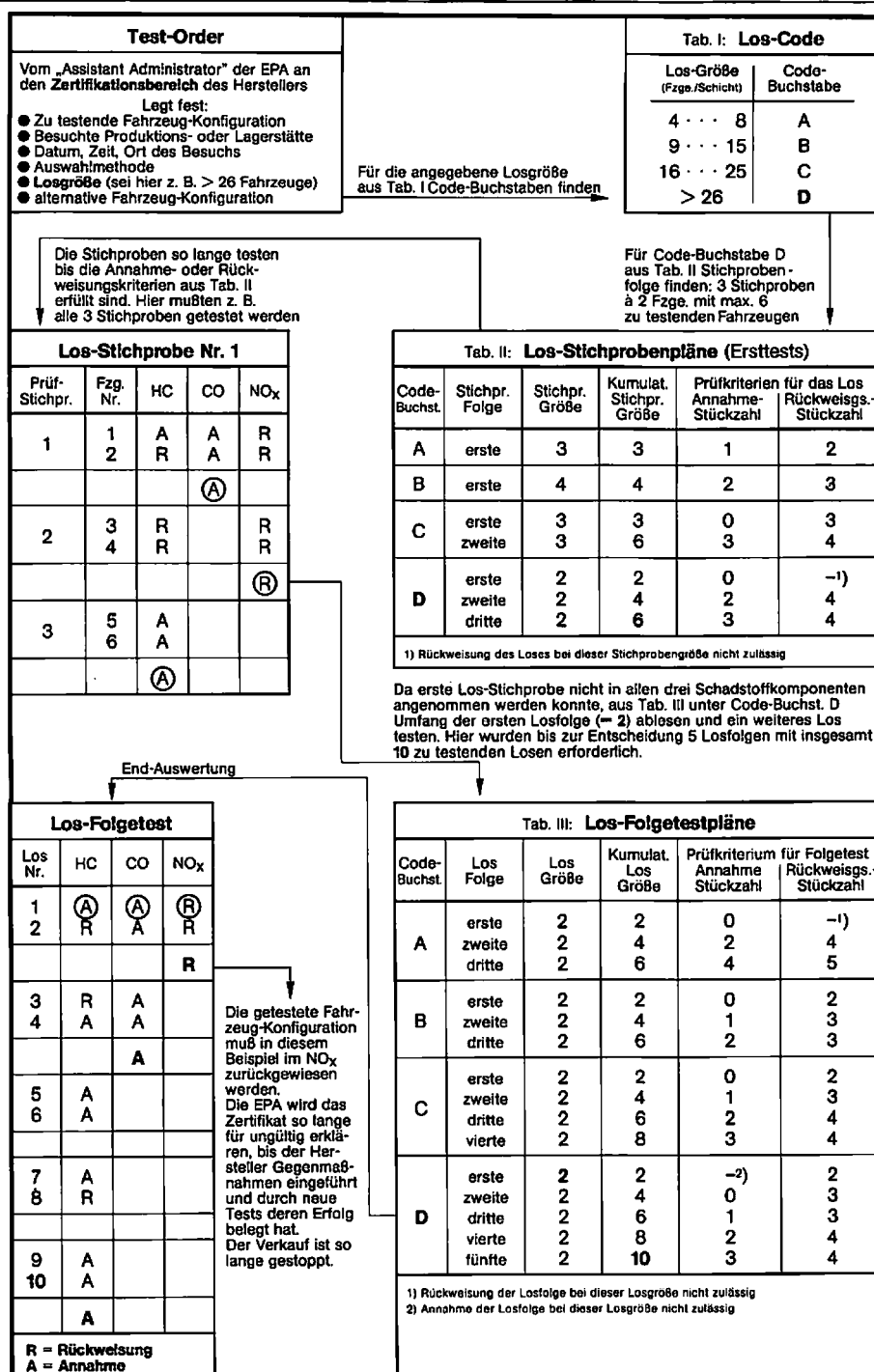
Bezüglich der Einbeziehung von Verschlechterungsfaktoren hatten alle Automobilhersteller besonders gegen die 0 bis 4.000 Meilen-Faktoren opponiert, und da auch EPA-interne Untersuchungen zeigten, daß keine statistisch signifikante Emissionsveränderung zwischen 0 und 4.000 Meilen erfolgte, wurde die Forderung nach Anwendung der Faktoren ( $f_1$ ,  $f_2$ ) gestrichen. Es sei hier darauf hingewiesen, daß unter "Null" Meilen alle Einlaufzustände des Fahrzeuges bis zu 50 Meilen zu verstehen sind.

Das SEA-Verfahren wurde - nach Probeläufen im Jahre 1976 bei verschiedenen Herstellern - mit den obengenannten und einigen weiteren Änderungen ab Modelljahr 1977 Gesetz [895], wobei noch eine Einschränkung erwähnenswert ist: Für Modelljahr 1977-Fahrzeuge, die vor dem 01.01.1977 produziert wurden, galten die Paragraphen 86.612 ("suspension and revocation of certificates of conformity") und 86.613 ("hearings on suspension and revocation of certificates of conformity") noch nicht, d. h. diesen Fahrzeugen konnte bei Überschreiten des AQL die Zulassung auch noch nicht entzogen werden [896].

#### 6.2.2 Das "Selective Enforcement Auditing" (SEA) -Verfahren der EPA

Das SEA beginnt mit der sogenannten "test order", die dem Zertifizierungsbereich des Automobilherstellers von der EPA zugesandt wird. Diese "test order" bezieht sich auf eine bestimmte Fahrzeugkonfiguration innerhalb einer Motorfamilie. Damit wird die Prüfung auf ein bestimmtes Fahrzeugkonzept konzentriert und der Gesamttestaufwand minimiert. Erst wenn Fehler festgestellt werden, weitet sich die Nachprüfaktion aus. Gemäß "test order" werden unabhängige Stichproben ("samples") aus einem Los ("batch") der Serie gezogen, wobei das Los in der "test order" beschrieben ist, und die Losgröße normalerweise der in einer Schicht produzierten Fahrzeugstückzahl entspricht.

Die Stichprobenauswahl basiert auf dem Folgetestplan-Prinzip mit attributiver Wertung [897]. Hierbei wird im Fall des SEA das sogenannte "multiple sampling" angewendet, d. h. es werden mehrere kleine aufeinanderfolgende Proben gleichzeitig aus



einem Los gezogen. Dieses Verfahren erlaubt es, mit wenigen Tests zu der gewünschten Aussage zu kommen (da nicht eine große Probe gezogen und daraus bis zur Entscheidung viele Tests gefahren werden müssen). Anhand des Beispiels in Bild III. 6-22 sei das SEA-Verfahren verdeutlicht:

In diesem Beispiel wird angenommen, daß der Automobilhersteller eine "test order" erhielt, in der eine Motorfamilie mit einer Schichtproduktion > 26 Fahrzeuge zur Überprüfung vorgesehen wurde. Mit der Losgrößenzahl findet man in Tabelle I den zugehörigen Code-Buchstaben für das weitere Vorgehen (D). Aus Tabelle II ergibt sich für Code D die Notwendigkeit, aus dem Los maximal drei Einzelstichproben zu je 2 Fahrzeugen zu ziehen, d. h. es stehen insgesamt 6 Fahrzeuge als Los-Stichprobe Nr. 1 bereit. Nun wird die erste Einzelstichprobe getestet, wobei das Fahrzeug Nr. 1 (in dem hier behandelten hypothetischen Beispiel) im HC und CO die Grenzwerte erfüllen, sie im NO<sub>x</sub> jedoch überschreiten soll. Es ist darauf hinzuweisen, daß der effektive Emissionswert erst nach Multiplikation mit dem im Zertifizierungsverfahren für die betreffende Schadstoffkomponente ermittelten Verschlechterungsfaktor mit dem Zulassungsgrenzwert verglichen wird.

Gemäß Tabelle II kann trotz Nichtbestehens beider Fahrzeuge im NO noch keine Rückweisung erfolgen, da die Stichprobe hierfür statistisch noch nicht ausreicht. Eine Annahme kann jedoch schon für CO erfolgen, da die Annahme-Stückzahl (0) aus Tabelle II erfüllt, d. h. kein "Versager" aufgetreten ist. Im HC liegt ein nicht bestandener

Test vor, d. h. eine Annahme ist nicht möglich, und es muß auf die zweite Prüf-Stichprobe übergegangen werden.

Als Fazit nach den jetzt vorliegenden 4 Tests ergeben sich 3 "Versager" und 1 bestandener Test im HC sowie 4 "Versager" im  $\text{NO}_x$  (CO zählt nicht mehr mit). Tabelle II zeigt, daß weder 3 "Versager" zum Ablehnen, noch 1 bestandener Test zum Annehmen der Stichprobe ausreichen. Also muß die dritte Prüf-Stichprobe getestet werden. Im  $\text{NO}_x$  erfolgt Rückweisung der Stichprobe, da die Rückweisungs-Stückzahl (4) erreicht ist. Nach der dritten Stichprobe liegen im HC drei bestandene Tests vor, und die Los-Stichprobe ist damit angenommen. Da die Los-Stichprobe Nr. 1 nicht für alle drei Schadstoffkomponenten angenommen werden konnte, wird die zweite zur ersten Losfolge gehörende Los-Stichprobe gezogen (neue Schicht in der Produktion) und das Verfahren wiederholt. Kann immer noch keine positive Entscheidung gefällt werden, wird gemäß Tabelle III (Los-Folgetestpläne) die zweite Losfolge wieder mit zwei Los-Stichproben gezogen etc., wobei die Annahme-/Rückweisungszahlen aus Tabelle III wie im Falle der Prüf-Stichprobe als Entscheidungskriterium zu verwenden sind.

Obiges Beispiel ergibt schließlich eine Annahme der Fahrzeugkonfiguration im CO (nach zwei Losfolgen, d. h. 4 Los-Stichproben) und im HC (nach fünf Losfolgen, d. h. nach 10 Los-Stichproben) sowie eine Ablehnung der überprüften Fahrzeugkonfiguration (und damit der entsprechenden Motorfamilie) im  $\text{NO}_x$  nach der ersten Losfolge, d. h. nach zwei Los-Stichproben. Die EPA würde in diesem Fall die Verkaufszulassung (Zertifikat) suspendieren oder ganz zurückrufen, bis der Hersteller Abhilfemaßnahmen gefunden hat und durch entsprechende Tests, deren Wirksamkeit beweisen konnte.

Wenn der Hersteller einen Produktions-, Versand- oder Verkaufsstopp umgehen will, und eine technische Abhilfemaßnahme nahezu ohne Verzug in die beanstandete Motorfamilie einbaut, und er auf vollen Erfolg dieser Änderung vertraut, kann er die EPA um sofortige Wiedereinsetzung des Zertifikates bitten, auch wenn die eventuell umfangreichen Nachweistests noch nicht vorliegen. Unter der Bedingung, daß der Hersteller einer kostenlosen Recall-Aktion zustimmt, falls diese in jedem Fall durchzuführenden Belegtests keinen Erfolg zeigen, macht die EPA die Verkaufszulassung kurzfristig wieder gültig.

Abschließend sei betont, daß die Verkaufszulassung für jedes Fahrzeug sofort nach einem nicht bestandenen Test erlischt. Dies bedeutet, daß alle Einzelfahrzeuge (auch die in einer schließlich angenommenen Stichprobe), die einen Schadstoffgrenzwert überschritten haben, vor dem Verkauf repariert werden und einen bestandenen Rücktest nachweisen müssen.

#### 6.2.3 Statistische Betrachtung des SEA-Verfahrens (Operations-Charakteristik)

Anhand der in {823} zusammengestellten Informationen sei ein Blick auf die statistischen Grundlagen des SEA-Verfahrens geworfen. Die Wahrscheinlichkeit für das Bestehen der SEA-Prüfung setzt sich - abhängig vom Umfang (Code A ... D) - aus den

Wahrscheinlichkeiten für das Bestehen der einzelnen Prüflose zusammen. Für das in Bild III. 6-22 dargestellte Beispiel des Code D sind bereits bis zu drei Stichproben für die Kontrolle eines Prüfloses möglich. Die entsprechende Bestehenswahrscheinlichkeit ( $P_B$ ) lautet also {899}:

$$P_B = P_0 + P_0 P_1 + P_1^2 + P_0 P_2 + 2P_0 P_1 P_2$$

Hierbei sind  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  die Wahrscheinlichkeiten, 0, 1 oder 2 "schlechte" Fahrzeuge in der Stichprobe zu finden.

Für die Wahrscheinlichkeit, eine Prüfung des Typs D zu bestehen, ergibt sich der Ausdruck:

$$P(p) = P_B^4 + 4P_B^5 \cdot (1-P_B) + 13P_B^6 (1-P_B)^2 + 26P_B^7 (1-P_B)^3$$

Ist nicht nur der Schlechtanteil  $p$  in der Grundgesamtheit bekannt, sondern auch die Verteilungsfunktion der die Grundgesamtheit bildenden Mittelwerte, so kann die Operationscharakteristik auch für die attributive Prüfung als Funktion des Mittelwertes bezogen auf den Grenzwert dargestellt werden. Das Argument  $u(p)$  der Verteilungsfunktion liefert für den "Gutanteil"  $(1-p)$  den Abstand Mittelwert-Grenzwert. Die Berechnung dieses Abstandes erfolgt üblicherweise normiert in Vielfachen der Standardabweichung (d. h. als  $u(p) \cdot \sigma$ ). Hierbei ist  $u(p) = (x_{\text{grenz}} - \mu) / \sigma$ , wobei  $u(p)$  für die Normalverteilung =  $\zeta(p)$  ist {899}.

Bei der Verteilung von Emissionsmeßwerten in der Serienproduktion liegt jedoch näherungsweise eine log-Normalverteilung vor, für die schon in Bild III. 6-14 die Operationscharakteristik im Vergleich zu anderen Verfahren dargestellt war. Das SEA-Verfahren ist hierbei zunächst das mildeste, wird jedoch - wie das Bild deutlich zeigt - mit höheren Verschlechterungsfaktoren zu einem der schärfsten Prüfverfahren für den Automobilhersteller (ähnlich der kalifornischen Option II):

Wird z. B. angestrebt, die SEA (Code A)-Prüfung oder die kalifornische Option II mit 95 %iger Wahrscheinlichkeit zu bestehen, so beträgt der zum Grenzwert einzuhaltende Sicherheitsabstand bei einem Verschlechterungsfaktor von 1.0 beim SEA  $\approx 2$  % und bei der kalifornischen Option II  $\approx 5$  %. Muß man jedoch in beiden Verfahren einen Verschlechterungsfaktor aus der Zertifikation - z. B. von  $DF = 1.5$  - berücksichtigen, so erhöht sich der notwendige Sicherheitsabstand bei beiden Verfahren auf  $\approx 35$  % {900}.

#### 7. Aufwand für die Betreuung der Emissionskontrollsysteme im praktischen Einsatz ("Defect Reporting" und "Recall")

Schon in den Anfangszeiten der Emissionskontrollgesetzgebung wurde von verschiedenen Stellen klar erkannt, daß allein die Betrachtung von Zulassungsfahrzeugen (Prototypen) nicht ausreichend war, um mit Sicherheit deutliche Fortschritte bei der Verbesserung der Luftqualität zu erreichen, und daß besonders Überprüfungen und Korrekturmaßnahmen an im Verkehr befindlichen Fahrzeugen hohe Effektivität bei der Emissionsabsenkung zeigten {901, 902, 903}. Trotz der nachfolgend zitierten frühen grund-



sätzlichen Möglichkeit zur gesetzlichen Behandlung von Fahrzeugen im Feldeinsatz {904} konzentrierte sich die US-Emissionskontrollgesetzgebung nahezu ein Jahrzehnt ausschließlich auf noch in Herstellerhand befindliche Fahrzeuge. Erst durch die sogenannten "Defect Reporting"-Vorschriften von 1975 waren praktisch anwendbare Auflagen zur Sicherstellung des vorgesehenen Emissionspotentials von Fahrzeugen im Feldeinsatz sowie für eventuelle Korrekturmaßnahmen mittels Rückrufverfahren ("Recall") verfügbar.

### 7.1 Gesetzlicher Hintergrund der "Defect Reporting"-Vorschriften

Der "Clean Air Act" schreibt in Sec. 207 ("Compliance by Vehicles in Actual Use") die Pflicht für den Automobilhersteller fest, dem Kunden ein Fahrzeug zu garantieren, das frei von Herstellungsmängeln ist, und bei dem er auftretende Fehler, die zu einem Überschreiten der Emissionsgrenzwerte innerhalb des "useful life" des Fahrzeuges führen, kostenlos instandsetzen wird (aus diesem Grund wird Sec. 207 auch als "warranty-Section" bezeichnet).

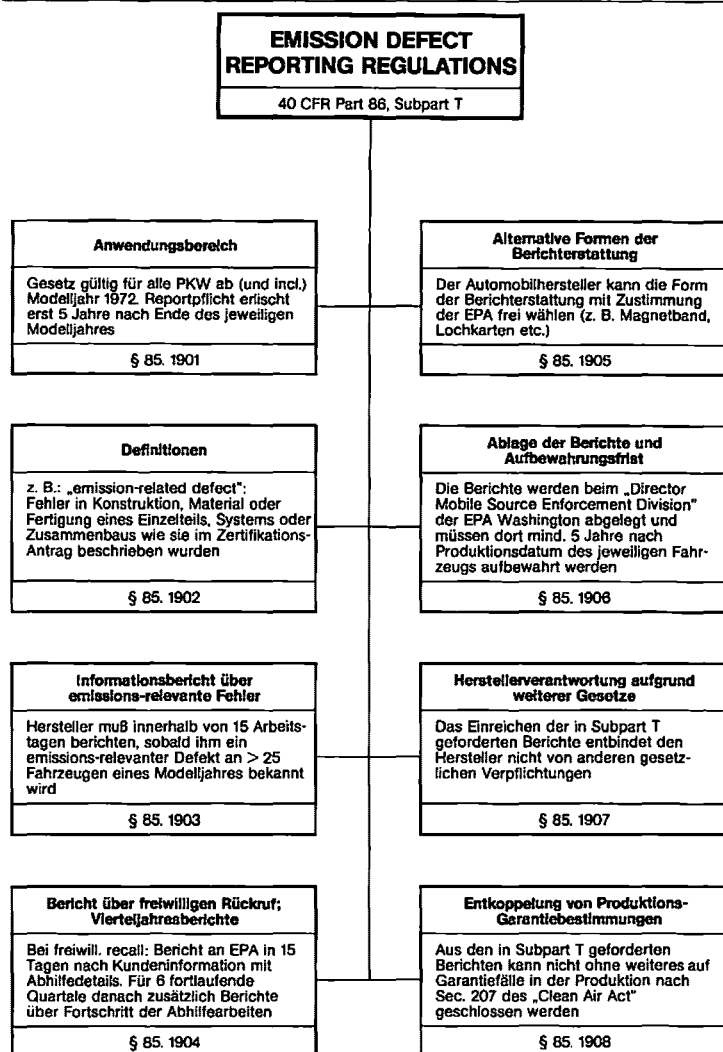
Das Gesetz sieht darüber hinaus in Sec. 208 ("Records and Reports") in allgemein gehaltener Formulierung vor, daß ein Hersteller jede Art von Berichten anfertigen und zur Verfügung stellen muß, die der EPA-Administrator von ihm verlangt, um nachprüfen zu können, ob der Hersteller die Vorschriften von "Title II" des "Clean Air Act" (siehe dazu auch Teil II, Kap. 3.2.10 mit Bild II. 3-1) befolgt.

Aus den obengenannten Abschnitten des "Clean Air Act" sowie aus Sec. 202 dieses Gesetzes ("Establishment of Standards"), in der das "useful life" (über das die Grenzwerte einzuhalten sind) mit 50.000 Meilen oder 5 Jahren definiert wird, leitete die EPA die Berechtigung zu der von ihr erstmals am 25.04.1975 im "Federal Register" vorgeschlagenen "defect reporting regulations" her. Explizit war bis dahin eine solche Regelung - daß der Automobilhersteller seine Kenntnis über emissionsbezogene Defekte an seinen Fahrzeugen der EPA melden muß (auch wenn sich durch diese Defekte die Emissionen erhöhten oder gar die Grenzwerte überschritten wurden) - in keinem Gesetz und keiner Ausführungsbestimmung vorhanden gewesen. Am 02.06.1977 wurde die neue Regelung als Gesetz mit rückwirkendem Einsatz für Fahrzeuge ab Modelljahr 1972 veröffentlicht {905}.

### 7.2 Die Forderungen des "Defect Reporting"-Gesetzes

Wie in Bild III. 7-1 gezeigt, gliedert sich das Gesetz zur Meldepflicht emissionsbezogener Defekt in 8 Sections. Wie aus diesem Bild ersichtlich ist, setzt das Gesetz rückwirkend beginnend mit Fahrzeugen des Modelljahres 1972 ein und behält für jedes Fahrzeug 5 Jahre lang nach dessen Produktionsdatum Gültigkeit.

Wichtig ist die in § 85.1902 getroffene Definition eines emissionsbezogenen Defektes, da über diesen Paragraphen wieder einmal die typischen Querverbindungen, besonders in der US-Emissionskontrollgesetzgebung erkennbar werden und folgende Feststellung untermauert wird:



"Die Bearbeitung, Befolgung und dokumentationsfähige exakte Einhaltung der vorgeschriebenen Gesetze zwischen Zertifikation, Serienproduktion und Einsatz der Fahrzeuge im Feld ist nicht separat behandelbar".

Die zwecks Definition eines emissionsrelevanten Defektes im Feld notwendige Zusammenstellung von emissionsbezogenen Motorteilen und Systemen zeigt jene Teile, die schon in den technischen Anmeldungsunterlagen der Zertifikation Basis der Zulassung waren, und die darüber hinaus auch Grundlage der in Kap. 5.2.2.1 und 5.2.2.2 beschriebenen serienproduktions- und ersatzteilversorgungsbezogenen "running-change"- und "field-fix"-Verfahren sind. Eine Zusammenstellung dieser Teile ist noch einmal in Bild III. 7-2 erfolgt.

Wird dem Hersteller ein Defekt an den in diesem Bild genannten Teilen bekannt, muß er der EPA Meldung

**Bild III.7-1:** Inhalt des für PKW von Modelljahr 1972 und später am 2. 6. 1977 gültig gewordenen Gesetzes über die Berichtspflicht von emissions-relevanten Defekten, nach [905].

machen, sobald mehr als 25 Fahrzeuge betroffen sind (es sei denn, er stellt den Fehler vor dem Verkauf der Fahrzeuge ab). Außer einer Defektbeschreibung müssen die Anzahl der betroffenen Fahrzeuge benannt (eventuell geschätzt), der vermutete oder belegbare Einfluß dieses Defektes auf das Emissionsverhalten des Fahrzeuges aufgezeigt und Emissionstest-Vergleichsdaten sowie Pläne zur Weiterverfolgung des Problems benannt werden.

Es wird von der EPA vorausgesetzt, daß der Hersteller für Fahrzeuge, die durch den Defekt die gültigen Emissionsgrenzwerte überschreiten, gleichzeitig einen freiwilligen Rückruf ("Recall") durchführt, für den er ebenfalls eine genaue Beschreibung abgeben muß (Anweisungen an Werkstätten, Kunden etc.). Der mit einer solchen Aktion verbundene Aufwand erhöht sich noch durch die Auflage der EPA, 6 Quartale lang Folgeberichte nachzureichen, die Fortschritte des "Recall" beschreiben.

Erwähnenswert ist noch, daß alle "Emissions-Defekte" zwar gemeldet werden müssen, daß aber nicht jeder dieser Fehler automatisch bedeutet, daß das Fahrzeug die zulässigen Grenzwerte überschreitet (selbst wenn sich der Fehler emissionserhöhend ausgewirkt haben sollte). Daher hat die EPA in den obengenannten Vorschriften den

<b>I. Motor-Grunddaten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdichtungsverhältnis</li> <li>• Kompressionsdruck</li> <li>• Ventildurchmesser (EIN/AUS)</li> <li>• Ventilstößel-Bauart</li> <li>• Ventilspiel</li> <li>• NW-Steuerzeiten</li> <li>• Ventilöffnung (vor OT)</li> <li>• Ventilschließen (nach OT)</li> <li>• Ventilüberschneidung</li> </ul> <b>II. Lufterlaß-System</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrierung des Temperaturkontrollsystems</li> </ul> <b>III. Kraftstoff-System</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leerlaufdrehzahl</li> <li>• Leerlauf-Gemisch</li> <li>• Fließkurve (V)</li> <li>• Kalibrierung des Übergangs-Anreicherungs-systems (V)</li> <li>• Kalibrierung der Start-Anreicherung (V)</li> <li>• Kalibrierung der Höhen-kompensation (V)</li> <li>• Kalibrierung der „hot idle“-Kompensation (V)</li> <li>• Kontrollgrößen und Kalibrierungen (E)</li> <li>• Kalibrierung der Kraftstoff-abschaltung (E)</li> <li>• Kalibrierung der Start-Anreicherung (E)</li> <li>• Kalibrierung der Übergangs-Anreicherung (E)</li> <li>• Kennfeld (E)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrierung der Höhenkorrektur (E)</li> <li>• Betriebsdrücke (E)</li> <li>• Kalibrierung der Einspritz-Zeiten</li> </ul> <b>IV. Zündsystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollgrößen und Kalibrierung</li> <li>• Grundeinstellung des Zündzeitpunktes</li> <li>• Schließwinkel</li> <li>• Einstellung falls Bestandteil einer Höhenkorrektur-Maßnahme</li> <li>• Zündkerzen-Spannung</li> </ul> <b>V. Motor-Kühlsystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrierung der Thermostaten</li> </ul> <b>VI. Emissions-Kontrollsystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollparameter und Kalibrierung des Lufterblase-systems</li> <li>• Durchflußrate der Luftpumpe</li> <li>• Kontrollparameter und Kalibrierung der Abgasrück-führung</li> <li>• Durchflußkurve und Kalibrierung des Abgasrückführ-ventils</li> <li>• Aktive Oberfläche des Katalysators</li> <li>• Katalysator-Volumen</li> <li>• Umsetzungs-Wirkungsgrad</li> <li>• Auspuff-Gegendruck</li> </ul>	<b>VI. Verdunstungs-Emissions-kontrollsystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollparameter und Kalibrierung</li> <li>• Kraftstofftank</li> <li>• Druck und Einstellung des Belüftungsventils</li> </ul> <b>VII. Kontrollsystem für Kurbel-gehäuseentlüftung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollparameter und Kalibrierung</li> <li>• Kalibrierung eines eventuell verwendeten Ventils</li> </ul> <b>VIII. Zusatz-Schaltelemente (AECD's)<sup>1)</sup></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollparameter und Kalibrierung</li> <li>• Kalibrierungen von Einzelteilen</li> </ul> <b>IX. Emissionskontrollsystem-Warneinrichtungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrollparameter und Kalibrierung</li> <li>• Kalibrierung von Einzelteilen</li> </ul> <b>X. Antriebsstrang</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenndaten (z. B. Reifen, Achsüber-setzung, Getriebeart und -Abstufung)</li> </ul>
V = Vergaser, E = Einspritzer, NW = Nockenwelle, EIN = Einlaß, AUS = Auslaß, OT = Oberer Totpunkt; 1) AECD = „Auxiliary Emission Control Device“ = Hilfselemente oder -schaltungen des Emissionskontrollsystems		

**Bild III.7-2:** Die im Gesetz über Meldepflicht von Defekten am Emissionskontrollsystem als emissions-relevant spezifizierten Teile oder Parameter, nach [905].

Hersteller	Betroffene Modelljahre	Anzahl betroffener Fahrzeuge	Bemerkungen
American Motors	1976	330,330	Von der US-EPA angeordnete Recall-Aktionen
Chrysler	1973/75/78	1,057,281	
Ford	1973 bis 1977	964,514	
General Motors	1973 bis 1975	467,885	
American Motors	1973 bis 1976	128,191	Vom Automobilhersteller freiwillig durchgeführte Recall-Aktionen, nachdem die US-EPA das aufgetretene Problem angesprochen und untersucht hatte
Chrysler	1975, 1976	15,943	
Fiat	1975	7,104	
Ford	1973 bis 1976	5,915,636	
General Motors	1973, 1975	323,279	
Honda	1975 bis 1977	422,610	
Nissan	1977	303,000	
Saab	1975, 1976	25,000	
Toyota	1972, 1973	491,224	
Volkswagen	1975, 1976	139,982	
Volvo	1972 bis 1976	128,641	
Alfa Romeo	1975	631	Vom Automobilhersteller freiwillig durchgeführte Recall-Aktionen, bevor die US-EPA das aufgetretene Problem angesprochen und untersucht hatte
American Motors	1973	516	
Chrysler	1975/76/78	38,417	
Datsun	1977	55,814	
Ford	1972 bis 1978	1,979,611	
Fiat	1977, 1978	11,043	
General Motors	1975 bis 1977	24,127	
Int. Harvester	1974	1,287	
Daimler-Benz	1977	462	
Volvo	1977	2,824	

**Bild III.7-3:** Die wesentlichsten emissionsbezogenen Recall-Aktionen auf dem US-Markt von 1972 bis 1978, nach [906 bis 914].

§ 85.1908 ergänzt, der besagt, daß aus der Tatsache einer Berichterreichung allein noch nicht auf automatische Aktivierung der "Garantie-Section" (Sec. 207) des "Clean Air Act" gefolgert werden darf.

### 7.3 "Recall"-Aktionen

Wie im Vorangegangenen erläutert, wurde der Automobilhersteller ab 02.06.1977 gesetzlich dazu verpflichtet, der EPA emissionsbezogene Defekte an seinen Fahrzeugen von sich aus mitzuteilen und - falls durch diese Defekte Emissionsstandards überschritten wurden - freiwillig eine Rückrufaktion einzuleiten.

In diesem Abschnitt soll nun ergänzend ein Blick auf das Problem von freiwilligen und angeordneten "Recall"-Aktionen geworfen werden, die nicht - oder nicht in allen Fällen - aufgrund von Meldungen seitens der Automobilindustrie in den zurückliegenden Jahren durchgeführt wurden. Gesetzliche Grundlage für die Anwendung von "Recall"-Aktionen aus Emissionsgründen ist abermals der "Clean Air Act" mit den "Clean Air Amendments" von 1970, die in Sec. 107 (c) (1) vorgesehen:

"Wenn der Administrator (der EPA) feststellt, daß eine nennenswerte Anzahl von Fahrzeugen trotz fachgerechten Betriebs und ordnungsgemäßer Wartung durch den Kunden nicht den Vorschriften von Sec. 202 (Emissionsstandards) während ihres Einsatzes über das "useful life" entsprechen, soll er davon sofort den Automobilhersteller informieren und ihn zum Einreichen eines Abhilfeplans auffordern".

Diese Vorschrift wurde von der EPA in bedeutendem Maße angewendet. Bild III. 7-3 gibt hierzu eine Übersicht charakteristischer Rückrufaktionen für den Zeitraum von 1972 bis 1978.

Es muß in diesem Zusammenhang aber auch erwähnt werden, daß die Zahl der durch einen Recall zurückgerufenen Fahrzeuge bei weitem nicht der Zahl der tatsächlich reparierten Fahrzeuge entsprechen muß. Selbst wenn der Automobilhersteller 100 % seiner Kunden zurückzurufender Fahrzeuge anschreibt, kann bei emissionsbezogenen Defekten der wirklich zurückkommende Kundenanteil nur zwischen 10 und 20 % liegen (Rückrufaktionen auf dem Sicherheitssektor sind dagegen ungleich effektiver). Dieser Hinweis ist notwendig, da sonst ein falsches Bild der durch emissionsbezogene Rückrufaktionen anfallenden Kosten entstehen könnte.

Mit diesen Ausführungen sei die Betrachtung der aus dem umfangreichen Komplex der US-Emissionskontrollgesetzgebung für den Automobilhersteller resultierenden Aufgaben abgeschlossen. Obwohl die USA durch ihre Führungsrolle in dieser Gesetzgebung stets einen Hauptanteil der Anforderungen an die Automobilindustrie bewirkt haben, wird der von einem weltweit exportierenden Automobilhersteller insgesamt zu diesem Thema zu erbringende Aufwand erst durch zusätzliche Betrachtung der auch auf anderen Märkten zu erfüllenden Emissionskontrollvorschriften ersichtlich. Die nachfolgenden Teile IV bis VII sollen helfen, das Bild dieses "Gesamtaufwandes" durch Behandlung der Situation in zwei weiteren Exportländern mit entsprechender Gesetzgebung zu vervollständigen.

## TEIL IV

### Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Japanischen Emissionskontrollgesetzgebung für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren

---

#### 1. Die Umweltsituation in Japan

Japan, mit einer Landfläche, die etwa der Größe Kaliforniens oder 2/3 der Größe Frankreichs entspricht {915}, hat heute eine Bevölkerung von mehr als 114 Millionen Menschen {916}. Da von der  $377 \cdot 10^3 \text{ km}^2$  Gesamtfläche des Landes {916} etwa 68 % Waldgebiete sind ( $\approx 253 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ ) {917, 918} und wegen des bergigen Charakters Japans von dem verbleibenden Rest ( $\approx 124 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ ) nur  $\approx 30 \%$  bewohnbar sind ( $\approx 37 \cdot 10^3 \text{ km}^2$ ) {919}, ergibt sich eine Bevölkerungsdichte von fast 3.000 Einwohnern je  $\text{km}^2$  Kulturland. Wenn man darüber hinaus berücksichtigt, daß Japan bereits 1975 im Bruttosozialprodukt-Vergleich mit der übrigen Welt den zweiten Platz einnahm {917}, wird deutlich, daß auf dem geringen bewohnbaren Raum eine enorme Wirtschaftstätigkeit stattfindet. Diese konzentriert sich hauptsächlich in den 6 größten Städten Tokyo, Kyoto, Osaka, Nagoya, Yokohama und Kobe ( $> 1,0$  Mio. Einwohner), wodurch sich eine Ballung von 50 % der Gesamtbevölkerung auf nur etwa 1,7 % der Fläche des Landes ergibt {917}.

Aus diesen speziellen Randbedingungen ergeben sich besonders gravierende Auswirkungen der Wirtschaftstätigkeit auf die Umweltsituation, wobei hier speziell der Zusammenhang zwischen Kraftfahrzeugverkehr und Luftqualität einleitend zur Betrachtung der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung dargelegt werden soll.

#### 1.1 Allgemeine Umweltsituation

Nachdem die japanische Wirtschaft etwa im Jahre 1955 ihre Nachkriegs-Erholungsphase abgeschlossen hatte, begann eine sozio-ökonomische Entwicklung, die sich hauptsächlich als Industrialisierung der obengenannten Städte niederschlug. Mit einem Anstieg des realen Bruttosozialproduktes von 1955 bis 1973 auf den 5,4fachen Wert {920} nahm Japan eine Spitzenstellung in der Welt ein. Aufgrund der zuvor beschriebenen Landschaftsstruktur in Verbindung mit der enormen Dynamik im Bau von Verkehrsverbindungen und städtischen Produktionsanlagen sowie ebenfalls kaum koordiniertem Wohnungsbau zu Lasten von Grünanlagen und Waldgebieten wurde das Wirtschaftswachstum

von immer ernster werdender Umweltverschlechterung (Luft, Wasser, Land) begleitet {919, 921}.

Die Luftqualitätsverschlechterung durch Emissionen aus Industrie und Kraftfahrzeugverkehr breitete sich von den Großstädten auch auf Kleinstädte aus und dürfte - bezogen auf den Kraftfahrzeugverkehr - in den Jahren 1965 bis 1970 ein Maximum erreicht haben (z. B. Tokyo) {922}. Obwohl die Luftverunreinigung seither zurückgeht (Einführung schwefelarmen Öls für die Industrie, Abgas-Normen für den Kraftfahrzeugverkehr) sind die Großstädte Japans noch immer die am meisten verschmutzten Gebiete, in denen Smogsituationen und Lärm die Bevölkerung belasten.

Nach offiziellen Berichten {923, 924} trat im Mai 1970 der erste Fall einer Gesundheitsschädigung durch photochemischen Smog in Tokyo auf. Wenn auch die Glaubwürdigkeit dieser Untersuchungsergebnisse teilweise in Frage gestellt worden ist, so kann doch nicht übersehen werden, daß z. B. in der Warmwetterperiode vom April bis Oktober 1974 insgesamt 288 "Oxidantien-Alarme" in 22 Präfekturen ausgelöst wurden (Stundenmittelwerte > 0,15 ppm) und daß nicht nur große Städte sondern auch kleinere Ortschaften betroffen waren {925}.

Die Anzahl der freiwilligen Meldungen an die Präfekturen über Gesundheitsbeeinträchtigungen durch photochemische Luftverschmutzung betrug 14.725 im Jahre 1974. Damit waren seit dem ersten Bericht (1970) insgesamt 133.941 derartige Meldungen zu verzeichnen {925}. Im Jahre 1975 erfolgten weitere 42.839 solcher Meldungen {926}.

## 1.2 Umweltsituation und Kraftfahrzeugverkehr

Kam im Jahre 1965 noch auf 13,7 Einwohner ein Kraftfahrzeug {915}, so lag dieses Verhältnis im Jahre 1979 bereits bei einem Fahrzeug pro 3,1 Bewohner (auf den Pkw allein bezogen lag das Verhältnis 1979 bei einem Fahrzeug pro 5,1 Einwohner {916}.

Die Verkehrsbedingungen in japanischen Städten gehören heute, besonders aufgrund der

Schadstoff	Rechnungs-Jahr (April bis März)	Emissionsquellen				$\Sigma$	
		Kraftfahrzeuge [10 <sup>3</sup> t/Jahr]	[%]	Andere [10 <sup>3</sup> t/Jahr]	[%]	[10 <sup>3</sup> t/Jahr]	[%]
CO	1960	451.9	97.7	10.8	2.3	462.7	100
	1965	802.6	96.6	28.5	3.4	831.1	100
	1970	943.5	93.0	70.9	7.0	1014.4	100
	1975 <sup>1)</sup>	1082.2	85.2	188.4	14.8	1270.6	100
HC	1960	79.2	51.7	74.2	48.3	153.4	100
	1965	143.8	57.0	108.4	43.0	252.2	100
	1970	231.8	57.3	173.0	42.7	404.8	100
	1975 <sup>1)</sup>	231.8	51.2	220.5	48.8	452.3	100
NO <sub>x</sub>	1960	31.0	35.6	56.3	64.4	87.3	100
	1965	69.7	34.8	130.5	65.2	200.2	100
	1970	173.0	39.0	270.8	61.0	443.8	100
	1975 <sup>1)</sup>	277.0	41.4	397.6	58.6	674.6	100

<sup>1)</sup> geschätzt unter der Annahme, daß die 1973 Emissionsgrenzwerte und spätere Emissionskontrollen nicht zum Einsatz gelangten.

**Bild IV.1-1:** Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs an der Gesamtemission von Schadstoffen in die Atmosphäre der „Tokyo Bay Area“ (Tokyo mit drei umliegenden Präfekturen), nach {928}.

diesem Fahrzeugansturm nicht gewachsenen und angepaßten Straßenverhältnisse, zu den ungünstigsten der Welt. Nach einer Berechnung der "Environment Agency" aus dem Jahre 1972 verursachte im Rechnungsjahr 1970 der Kraftfahrzeugverkehr 93 % der CO-, 57 % der HC- und 39 % der NO<sub>x</sub>-Gesamtemission in der "Tokyo Bay Area" {927}. Ein Vergleich dieser Situation mit weiteren Jahren ist in Bild IV.1-1 gegeben.

Die Umweltsituation bezüglich CO, das nach dieser Übersicht hauptsäch-

Rechnungs- Jahr	Jahres- Mittelwert [ppm]	Anzahl der Meßstationen, die die Luftqualitäts-Standards		Anteil der unter- schreitenden zur Gesamtzahl der Meßstationen
		unterschritten	überschritten	
1971	4.9	10	12	45
1972	4.0	47	48	49
1973	3.8	121	29	81
1974	3.5	158	37	81
1975	3.4	205	52	80

**Bild IV.1-2:** Veränderungen der CO-Immissionswerte, gemessen mit straßennahen Überwachungsstationen in Japan, nach [929].

Schadstoff	SO <sub>2</sub>	CO	Partikeln <sup>1)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup>	Photochem. <sup>3)</sup> Oxidantien
Tagesmittel- wert aus den Stunden- werten	≤ 0.04 ppm	≤ 10 ppm	≤ 0.10 mg/m <sup>3</sup>	0.04 bis 0.06 ppm	—
Stunden- wert	≤ 0.1 ppm	Mittelwert von 8 aufeinander folgenden Stunden ≤ 20 ppm	≤ 0.20 mg/m <sup>3</sup>	—	≤ 0.06 ppm

<sup>1)</sup> Schwebstoffe, deren Durchmesser ≤ 10 µm betragt. <sup>2)</sup> Dazu werden Ozon und PAN (Peroxyacetylnitrat), die durch photochemische Reaktionen entstehen, gezählt. <sup>3)</sup> Der NO<sub>x</sub>-Luftqualitätsstandard wurde am 11. 7. 1978 von ehemals 0.02 ppm erleichtert, basierend auf dem Report des „Central Council for Control of Environmental Pollution“. Der neue Bereich gilt mit folgenden Hinweisen: a) in Gebieten, in denen der Tagesmittelwert aus den Stundenwerten > 0.06 ppm ist, sollen Anstrengungen unternommen werden, den 0.06 ppm-Wert bis 1985 zu erreichen; b) in Gegenden mit Werten zwischen 0.04 und 0.06 ppm sollen Anstrengungen unternommen werden, das vorhandene Niveau beizubehalten oder nur unwesentlich ansteigen zu lassen; c) nicht nur Emissionskontrollmaßnahmen gegen individuelle Quellen, sondern auch verschiedene andere Gegenmaßnahmen sollen in zusammengefaßter, wirksamer und angemessener Weise angewendet werden, um den Luftqualitätsstandard beizubehalten oder zu erreichen.

**Bild IV.1-3:** Die japanischen Luftqualitäts-Standards, nach [931 und 934].

Schadstoff	Gesetz: Artikel 23, § 1 *) Warnung/Alarm, Verursacher werden auf- merksam gemacht und um freiwillige Gegen- maßnahmen ersucht		Gesetz: Artikel 23, § 4 *) Ernste Gefahr, sofortige Gegenmaß- nahmen werden erzwungen	
	ppm	h	ppm	h
SO <sub>x</sub>	0.2	3	0.5	3
	0.3	2	0.7	2
	0.5	1		
	0.15	48		
CO	30	1	50	1
NO <sub>2</sub>	0.5	1	1	1
Oxidantien	0.15	1	0.5	1
Einheit	mg/m <sup>3</sup>	h	mg/m <sup>3</sup>	h
Feststoffe	2.0	2	3.0	3

\*) „Air Pollution Control Law“ (Gesetz Nr. 67 von 1968) und „Enforcement Cabinet Order of Air Pollution Control Law“ (Cabinet Order Nr. 329 von 1968 Art. 11)

**Bild IV.1-4:** Luftqualitäts-Standards, bei deren Überschreitung die japanischen Behörden Gegenmaßnahmen einleiten, nach [935]

macht deutlich, daß das Auftreten von Smog-Zuständen in Japan ein nach wie vor ungelöstes Problem ist.

Diese Tatsache wird besonders deutlich, wenn man die von Überwachungsstationen gemessenen Immissionswerte mit den gültigen Luftqualitäts-Standards vergleicht. Von 666 straßenfernen Stationen unterschritten im Rechnungsjahr 1975 nur 54 den NO<sub>2</sub>-Standard, die Werte der Stationen in Straßennähe lagen alle über dem Limit. Wenn man

lich vom Kraftfahrzeug verursacht wird, hat sich, wie Bild IV.1-2 zeigt, seit etwa 1970 aufgrund der eingeführten Emissionskontrollmaßnahmen gebessert. Im Jahre 1973 zeigten bereits 80 % der straßennahen Luft - Qualitäts-Überwachungsstationen die Erfüllung der AQ-Standards an {927} .

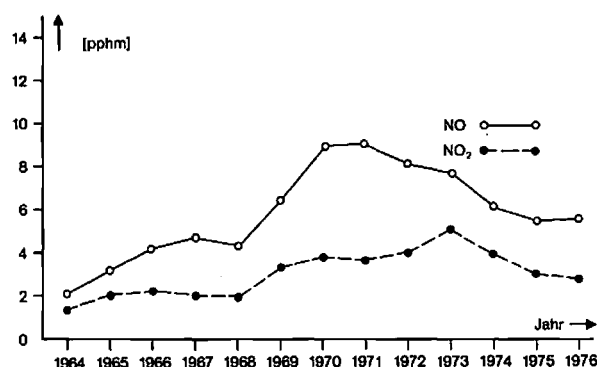
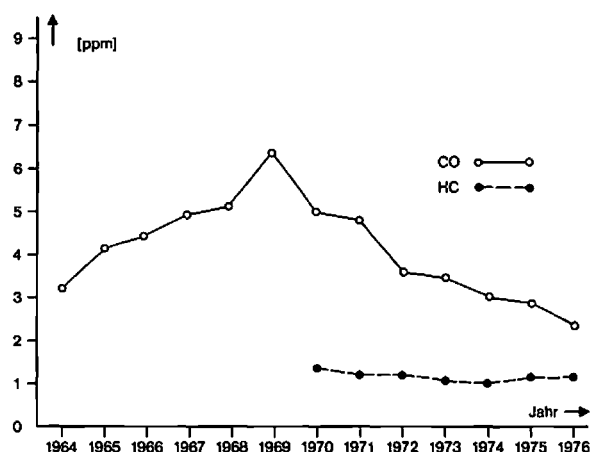
Weitere Verbesserungen wurden seither nicht realisiert. Eine andersartige Tendenz als beim CO zeigt sich bei den HC-Überwachungen. Sowohl straßenferne wie auch straßennahe Meßstationen ("ambient air- and road-side air monitoring stations") zeigen konstante bis leicht steigende Werte über den obengenannten Zeitraum an {930}.

Da japanische Großstädte (und teilweise - aufgrund von Fernwirkung - auch kleinere Ortschaften) unter dem Smog-Problem leiden {930}, ist besonders die Konzentration der hauptsächlich durch HC und NO<sub>x</sub> gebildeten Oxidantien interessant. Bild IV.1-3 faßt die für diese und weitere Schadstoffe gültigen japanischen Luftqualitätsstandards zusammen, und Bild IV.1-4 zeigt die entsprechenden Grenzen, ab denen Umweltalarm ausgelöst oder sofortige Gegenmaßnahmen erzwungen werden. Die Häufigkeit der Smog-Alarmauslösungen pro Jahr (Überschreiten des Stundenlimits von 0,15 ppm) zeigt einen Maximalwert im Rechnungsjahr 1973,

fällt im Rechnungsjahr 1974 ab und steigt im Rechnungsjahr 1975 abermals an. Bild IV.1-5

Rechnungs- Jahr	Durchschnittswerte von Tagen, an denen die Stunden-Werte > 0.15 ppm betrugen (bei 9 seit 1971 kontinuierlich messenden Stationen)	Gesamtzahl von Über- wachungs- Stationen
1971	6.8	12
1972	12.8	29
1973	14.3	48
1974	10.2	60
1975	18.6	67

**Bild IV.1-5:** Veränderungen der Oxidantien-Immissionswerte, gemessen mit straßennahen Überwachungsstationen in Japan, [936].



**Bild IV.1-6:** Veränderung der straßennahen Schadstoffkonzentrationen in Tokyo seit 1964, aufgetragen als Mittelwert der Messungen von drei Überwachungsstationen, nach [938].

die Daten mit den auf Jahresmittelwerte umgerechneten Luftqualitäts-Standards

( $\approx 0,01$  ppm) vergleicht, so lagen die Werte der straßenfernen Meßstationen 4- bis 6mal und die der straßennahen Stationen 5- bis 7mal höher als der Grenzwert {937}. Damit zeigt die Luftverunreinigung durch NO/NO<sub>2</sub> im gesamten bewohnten Landteil eine ernste Gefährdung, und die NO<sub>x</sub>-Kontrolle wurde zu einem Hauptziel der japanischen Umweltschutzbestreбungen.

In Bild IV.1-6 sind noch einmal die Meßwerte von drei Überwachungsstationen in Tokyo zusammengefaßt, die seit 1964 kontinuierliche Aufzeichnungen der straßennahen Immissionen durchführen. Die Stationen befinden sich in Kasumigaseki, Itabashi und Shinguku. Da diese Stationen an stark befahrenen Straßen liegen, zeigen ihre Meßwerte deutlich den Wechsel der durch Automobile verursachten Beeinflussung der Luftqualität über einen längeren Zeitraum an. Um der ständig weiter steigenden Luftverschmutzung und besonders dem wieder im Ansteigen begriffenen NO<sub>2</sub>-Niveau Herr zu werden, haben die Behörden nicht nur die in Kap. 3 behandelten scharfen Emissionsgrenzwerte für Kraftfahrzeuge erlassen, sondern versuchen auch, das Gesamt-Verkehrsvolumen und die pro Fahrzeug zurückgelegten Entfernungen zu verringern {939}.

In Orten, wo eine ernste Luftverschmutzung durch Automobile vorliegt, wird es aus Langzeit-Gesichtspunkten für notwendig erachtet, das Verkehrsvolumen zu reduzieren und den Verkehrsablauf neu zu gestalten. Bezüglich Verkehrseinschränkung hat die "National Police Agency" seit dem Rechnungsjahr 1974 umfassende innerstädtische Kontrollen in 168 Städten mit > 100.000 Einwohnern eingeleitet. Man verspricht sich durch Senkung des Verkehrsaufkommens außer einer Verbesserung der Umgebungsluft, auch eine Absenkung von Unfällen und Stauungen {939}. Die härtesten Maßnahmen wurden in den 10 größten Städten durchgeführt. An der Spitze liegt Tokyo mit größter Fahrzeugdichte und höchster Luftverunreinigung. Ab April 1975 sollte in diesen Städten das tägliche Gesamtverkehrsvolumen um  $\approx 10$  % gesenkt werden. Änderungen in



der innerstädtischen Struktur und am Straßennetz waren die Hilfsmittel. Als weitere Ziele enthielt das Programm {939}:

- den beschleunigten Übergang von Privatverkehr auf Massentransportmittel durch separate Busfahrbahnen und Bus-Vorfahrtsberechtigungen,
- Erweiterung von Parkverbotsbereichen,
- Einrichtung von Fußgängerzonen,
- Sperrung von Straßen für Fahrzeuge bestimmter Größe,
- Rationalisierung des Warentransportes durch bestimmte Parkverbote,
- Einrichtung weiterer Taxi-Stände, um leeres Herumfahren der Fahrzeuge zu verringern,
- Erlaß von Richtlinien über rationelles Verteilerwesen.

## 2. Gesetzgebung und Behörden im Zusammenhang mit Kraftfahrzeug und Umweltschutz

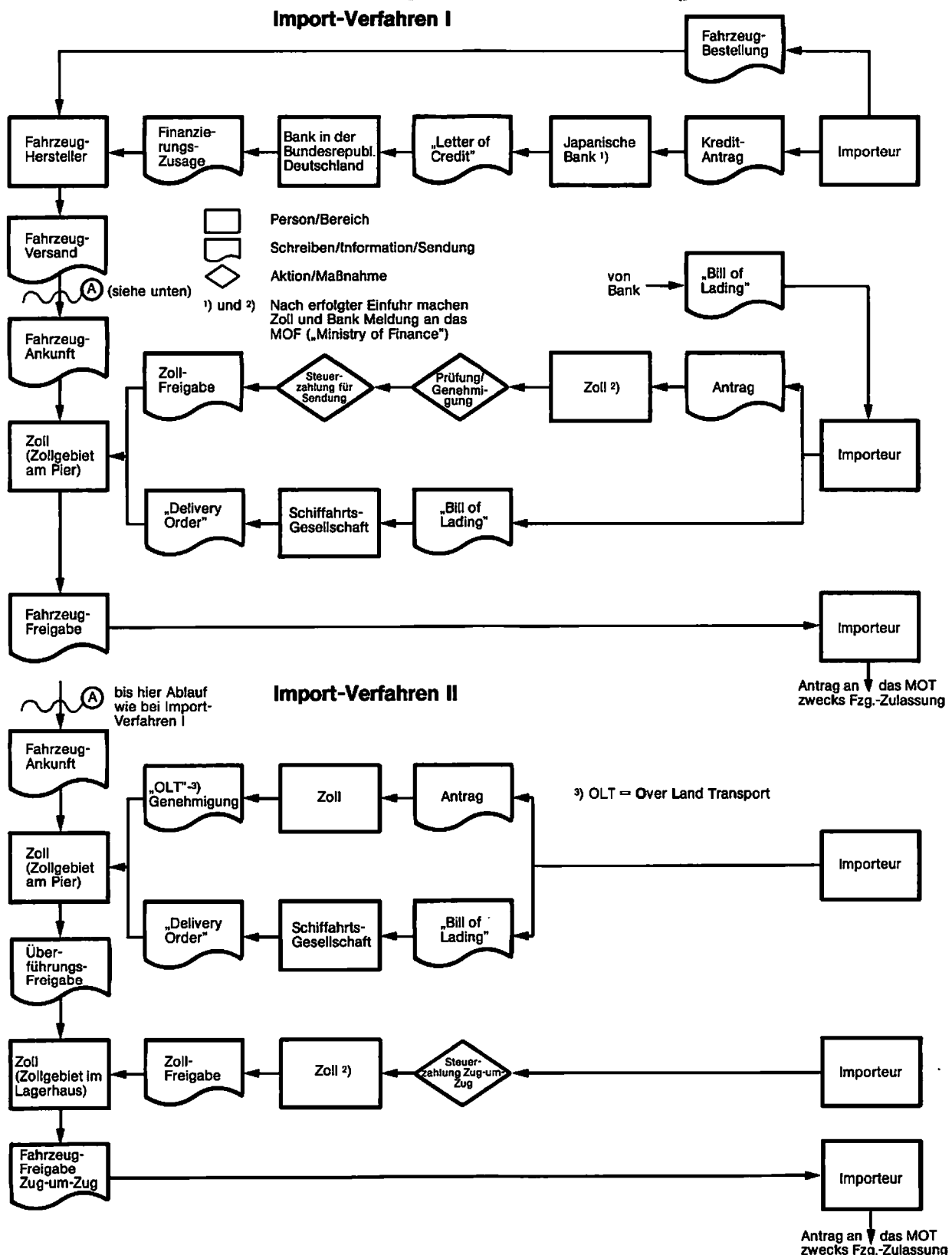
Besonders seit dem Einsatz von immer weiter verschärften Emissionskontrollgesetzen geriet Japan unter heftige Kritik der in dieses Land exportierenden automobilproduzierenden Nationen. Unklarheiten der japanischen Zulassungspraktiken, der relevanten organisatorischen Zusammenhänge innerhalb der involvierten Behörden und vor allem die Nichtverfügbarkeit entsprechender Informationen zumindest in englischer Sprache boten ein echtes Handelshemmnis.

Mitte der 70er Jahre sahen sich daher sowohl die japanische Umweltschutzbehörde ("Environment Agency", EA), die Zulassungsbehörde (Verkehrsministerium = "Ministry of Transport", MOT) wie auch der japanische Herstellerverband ("Japanese Automobile Manufacturers Association", JAMA) und die japanische Importeursvereinigung ("Japanese Automobile Importers Association", JAIA) veranlaßt, den Importeuren englischsprachige Informationen über die wichtigsten Zusammenhänge zwischen Import und Zulassung sowie Umweltschutz- und speziell Emissionskontrollgesetzgebung an die Hand zu geben, zu Demonstrations- und Erläuterungs-Meetings über neue Gesetze nach Japan einzuladen (z. B. bei der Einführung der in Teil V, Kap. 3.3 näher erläuterten Überhitzungsschutz-Forderungen mit Einsatz der Katalysatortechnologie im Mai 1975) und schließlich im Jahre 1979 erstmals eine etwa 800 Seiten umfassende Detail-Beschreibung der japanischen Zulassungsverfahren für Kraftfahrzeuge in englischer Sprache zu veröffentlichen {940}.

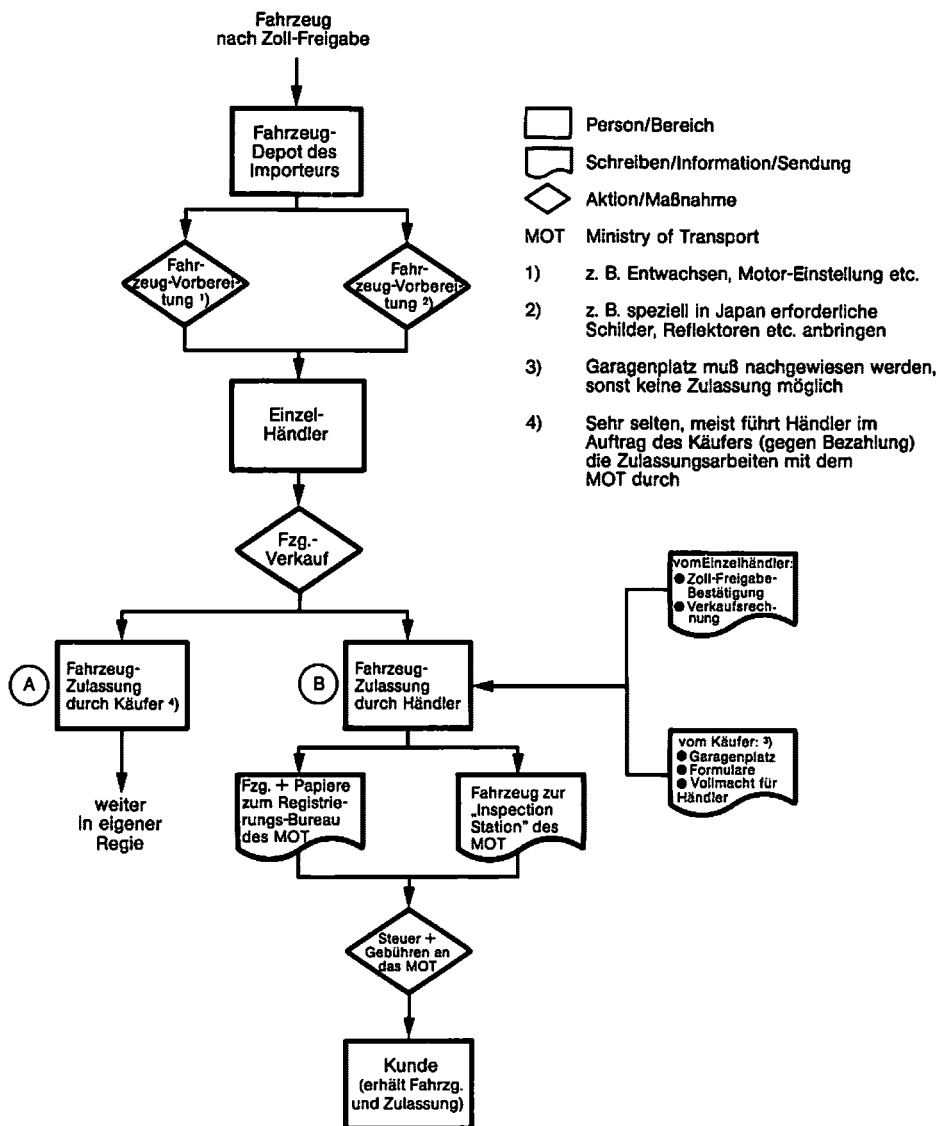
Aus den Angaben in den Dokumenten {915, 917, 918, 919, 921, 927, 940} und Gesprächen mit den entsprechenden Behörden {941 bis 945} wurden die in den folgenden Kapiteln gezeigten graphischen Darstellungen erarbeitet, die es ermöglichen, über die lange Zeit unklaren Zusammenhänge der japanischen Fahrzeug-Zulassung und hier insbesondere der emissionskontrollrelevanten Zulassungsfragen schnell den zum Verständnis des Gesamtkomplexes notwendigen Überblick zu gewinnen.

## 2.1 Generelle Einfuhr-Prozedur eines Kraftfahrzeuges nach Japan

Zum Anfang der Gesamtbetrachtungen sei kurz der in Bild IV.2-1 dargestellte Ablauf der Einfuhr eines ausländischen Kraftfahrzeugs nach Japan erläutert: Im oberen Teil des Bildes ist die Import-Prozedur für den Fall dargestellt, daß vom Importeur die gesamten Steuern für alle einzuführenden Fahrzeuge auf einmal bezahlt und alle Fahrzeuge zum gleichen Zeitpunkt zollamtlich freigestellt werden. Dieser



**Bild IV.2-1:** Import-Verfahren am Beispiel der Fahrzeug-Einfuhr aus der Bundesrepublik Deutschland durch einen japanischen Importeur (Verfahren I wegen sofortiger voller Steuerzahlung sehr selten, meist wird Verfahren II angewandt), nach [941].



**Bild IV.2-2:** Ablauf der im Anschluß an den Fahrzeug-Import durchzuführenden Fahrzeug-Zulassung in Japan, nach [941].

migung des MITI ("Ministry of International Trade and Industry") und auch keine Importlizenz der "Bank of Japan" mehr eingeholt werden müssen - informieren die kreditgebende Bank sowie der Zoll das Finanzministerium ("Ministry of Finance") von der Einfuhr. Schließlich muß sich der Importeur zwecks Zulassung des Fahrzeugs an das MOT wenden, das damit beim technischen Abschluß der obengenannten Einfuhrprozedur die entscheidende Rolle spielt. Diese Zulassung erfolgt wie in Bild IV.2-2 gezeigt.

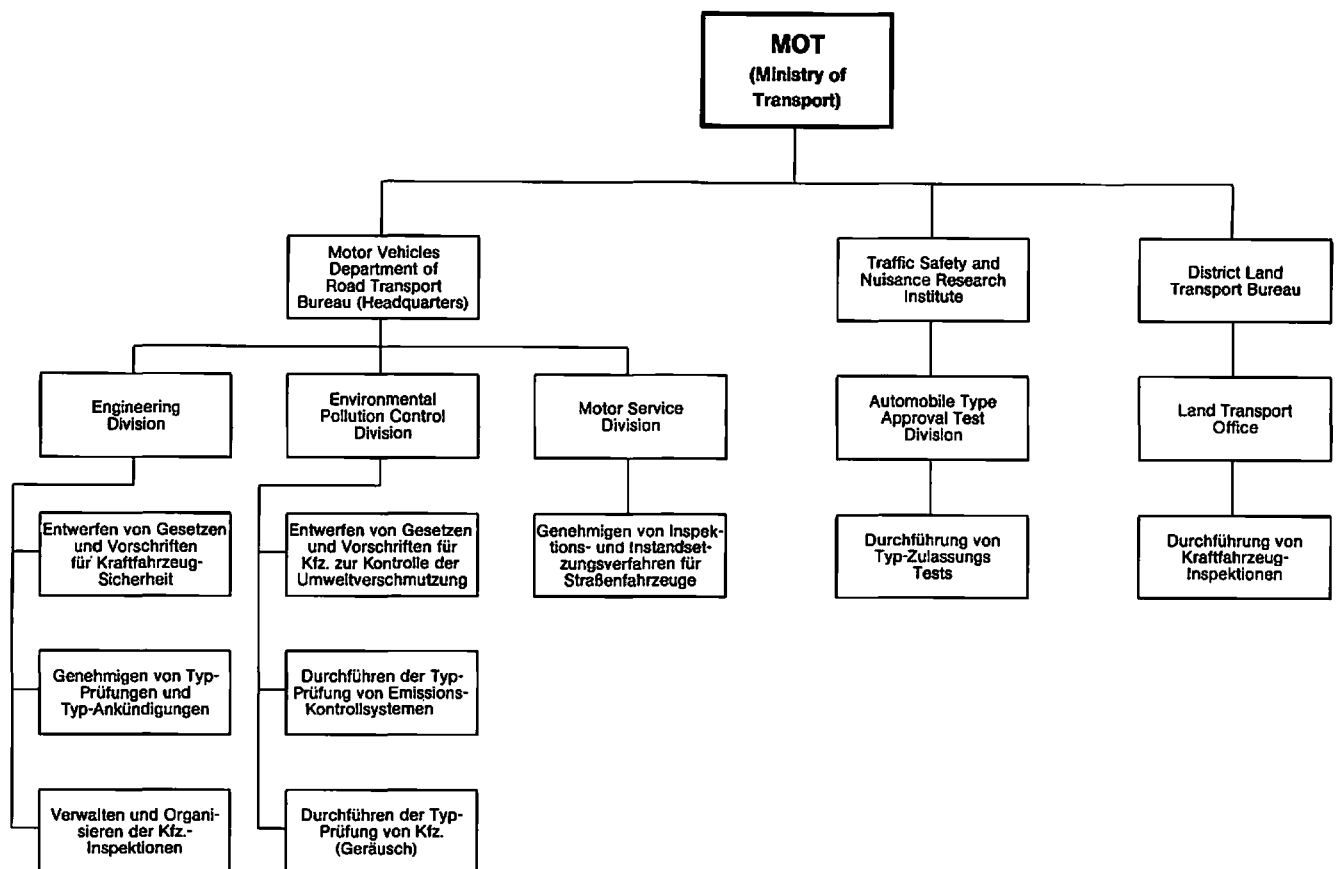
## 2.2 Organisation und Verantwortungen des japanischen Verkehrsministeriums ("Ministry of Transport", MOT)

Das Verkehrsministerium ist für den Entwurf aller fahrzeugtechnischen sicherheits- und umweltschutzbezogenen Vorschriften zuständig. Ihm obliegen weiterhin die praktische Durchführung von Typ-Prüfungen, Typ-Zulassungen und Kraftfahrzeug-Inspektionen auf den Gebieten Sicherheit, Schadstoff-Emissionen und Geräusch. Der organisatorische Aufbau des MOT und die Verantwortungen der jeweiligen Bereiche dieser Behörde sind in Bild IV.2-3 dargestellt. Auf die Details der verschiedenen japani-

Fall ist jedoch sehr selten, und meist wird der im unteren Teil des Bildes gezeigte Ablauf praktiziert.

Hierbei werden die ein-treffenden Fahrzeuge mittels einer "OLT" ("Overland Transport"-Genehmigung) des Zolls vom Pier in ein Lagerhaus des Importeurs überführt, in dem sie jedoch weiterhin als Zollgut zu behandeln sind. Von hier aus kann der Importeur gegen eine Zug-um-Zug-Steuerzahlung so viele Fahrzeuge abrufen wie er benötigt.

Nach dem Import der Fahrzeuge - zu dem heute im Gegensatz zu früher keine Einfuhrgeneh-



**Bild IV.2-3:** Organisation des japanischen Verkehrsministeriums bezüglich fahrzeugtechnischer Vorschriften sowie die Verantwortlichkeiten seiner mit Fahrzeugzulassung und -überprüfung befaßten Bereiche, nach [946].

nischen Zulassungsverfahren (Typ-Prüfung, Typ-Zulassung, Typ-Ankündigung) wird in Teil V, Kap. 2 näher eingegangen.

### 2.3 Organisation und Verantwortungen der japanischen Umweltschutzbehörde ("Environment Agency", EA)

Im Juli 1971 wurde die "Environment Agency" eingerichtet, um die umweltschutzbezogene Administration, die vorher durch die individuellen Ministerien der Regierung wahrgenommen wurde, zu koordinieren und umfassend zu verbessern. Gleichzeitig wurde beschlossen, das "National Institute for Environmental Pollution Research" sowie das "Training Institute for Environmental Pollution Control" zu gründen und der EA als Hilfsorgane auf den Gebieten der Forschung in Umweltschutzwissenschaften sowie der Personalschulung für regionale Umweltschutzüberwachungsstationen zuzuordnen [947].

Der organisatorische Aufbau der EA und die Verantwortungen der jeweiligen Bereiche dieser Behörde sind in Bild IV.2-4 dargestellt. Im Zusammenhang mit der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung für Kraftfahrzeuge und den entsprechenden behördlichen Aktivitäten sind von besonderer Bedeutung:

- der "Central Council for Control of Environmental Pollution",
- die "Air Pollution Control Division" und
- die "Automotive Pollution Control Division".

Die Zusammenarbeit zwischen der EA und dem im vorigen Kap. beschriebenen MOT findet

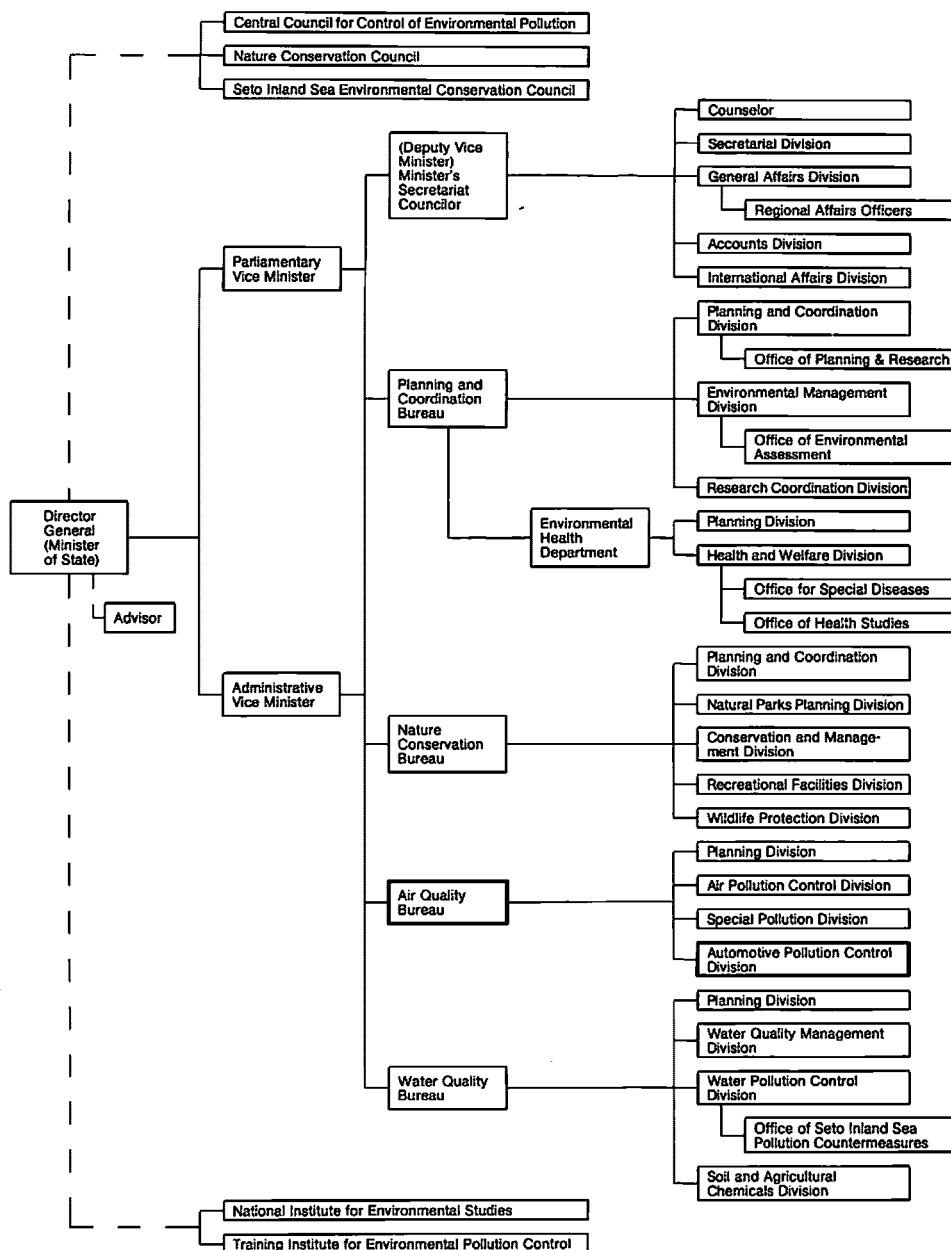


Bild IV.2-4: Organisation der Japanischen Umweltschutzbehörde („Environment Agency“). [948].

Automobile auf der Basis der "Safety Regulations" des "Road Transport Vehicle Law" (Kap. 3) und des "Road Vehicles Act" z. B. mit dem Verbot des Betriebs von nicht ordnungsgemäß gewarteten Fahrzeugen in Art. 62 sowie auch durch Eingriffe in den Verkehrsablauf zur Vermeidung öffentlicher Belästigungen durch den Verkehr in Art. 110-2, Pkt. 1, etc.) {941}. Dieses Zusammenwirken von MOT und EA wird auch in der in Kap. 2.4 wiedergegebenen graphischen Darstellung deutlich. Ein weiterer wesentlicher Faktor in der Verbindung von EA und MOT ist der von Zeit zu Zeit bewußt vorgenommene Austausch von höheren Beamten dieser (wie auch anderer mit Umweltschutz befaßter) Ministerien untereinander {942}.

Für den Fahrzeughersteller/Importeur ist die "Environmental Pollution Control Division" des "Road Transport Bureau" der wichtigste Bereich im MOT. Er führt sämtliche Fahrzeug-Zulassungsarbeiten (insbesondere auch die Emissionskontrollsystem-Zertifikationen) aus. Da – wie Bild IV.2-3 entnommen werden kann – zu den Aufgaben des MOT

wie folgt statt: Grundsätzlich ist die EA ein unabhängiges Ministerium, das gleichrangig zum MOT steht. Sie hat gemäß dem "Enforcement Law" Nr. 329 vom 30.11.1968 (Artikel 4) luftverunreinigende Stoffe ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$ , Bleiverbindungen, Partikeln) und gemäß dem "Air Pollution Control Act" (Law Nr. 97 vom 10.06.1968, Art. 2, § 6) den Begriff des Automobilabgases definiert {941}.

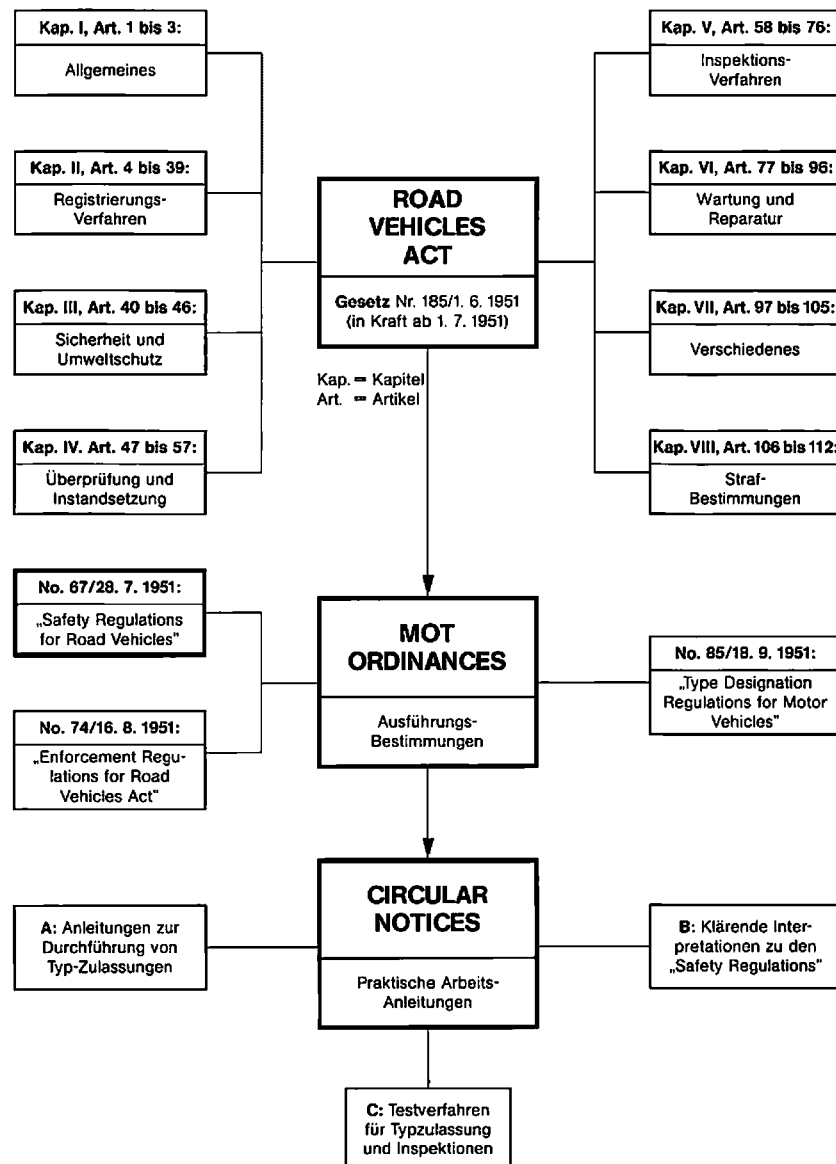
Die EA legt zulässige Grenzwerte für die obengenannten Schadstoffe (Emissions- und Immissions-Standards fest, und das MOT erarbeitet die notwendigen Maßnahmen zu deren Einhaltung (im Falle der



seinerseits eine Anweisung zur teilweisen Änderung oder Ergänzung der "Safety Regulation for Road Vehicles" in Form der "MOT-Ordinances" und legt in den sogenannten "Circular Notices" die entsprechenden Testvorschriften im Detail fest.

## 2.5 Zusammenhänge der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung

Die Grundlage der japanischen fahrzeugtechnischen Vorschriften bildet der "Road Vehicles Act" von 1951. Er beinhaltet in 8 Kapiteln alle im Zusammenhang mit dem Kraftfahrzeug erlassenen Basisgesetze. Diesen Gesetzen werden, wie Bild IV.2-6 zeigt, Ausführungsbestimmungen ("Ordinances") zugeordnet, mit denen das jeweils betroffene Basisgesetz ergänzt oder teilweise abgeändert wird, wie im vorigen Abschnitt anhand neuer Emissionsgrenzwerte erläutert wurde. Als letztes Glied dieser Kette fungieren die "Circular Notices", die - als praktische Arbeitsanleitung - eine sachgerechte und erfolgreiche Anwendung des obengenannten Basisgesetzes und seiner Ausführungsbestimmungen ermöglichen. Die relevanten "Circular Notices" zum "Road Vehicles Act" sind in Bild IV.2-7 zusammengefaßt.



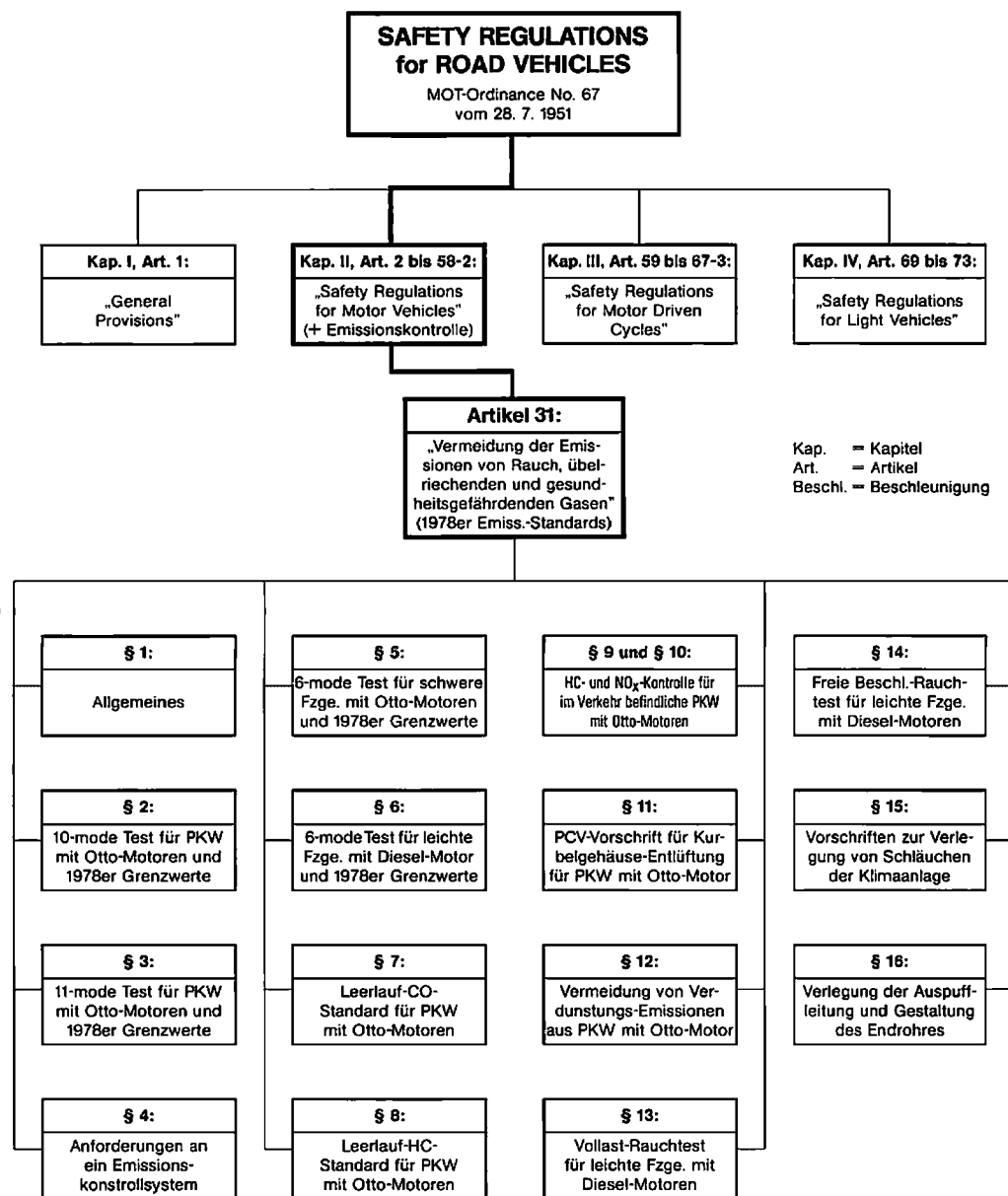
Im Zusammenhang mit der Emissionskontrollgesetzgebung für Pkw ist die MOT-Ordinance Nr. 67 vom 27.07.1951 entscheidend. Sie fügt den zunächst nur auf die Fahrzeugsicherheit ausgerichteten Kapiteln des "Road Vehicles Act" in ihrem Artikel 31 sämtliche Emissionskontrollbestimmungen mit den entsprechenden Grenzwerten hinzu. Dieser Zusammenhang ist in Bild IV.2-8 veranschaulicht, das gleichzeitig den Aufbau des hier hauptsächlich interessierenden Artikels 31 wiedergibt. Die in den einzelnen Paragraphen dieses Artikels angesprochenen Testverfahren, Fahrzyklen und Grenzwerte werden in Teil V dieser Arbeit noch im Detail betrachtet.

**Bild IV.2-6:** Der „Road Vehicles Act“ von 1951 mit seinen Ausführungsbestimmungen und praktischen Arbeitsanleitungen (die MOT-Ordinance No. 67 enthält in Artikel 31 die japanische Emissionskontrollgesetzgebung für Fahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motor), nach [949].

Circular- Notice Kenn-Nr.	Titel	Inhalt
2-5-A-a	Enforcement Procedure for Designation of Motor Vehicle Types	Detaillierte Vorschriften für die Beantragung und Durchführung der Typ-Prüfung von Kraftfahrzeugen. Ergänzt darüber hinaus die „Type Designation Regulation for Motor Vehicles“
2-5-A-b	Handling Procedure for Notification of Motor Vehicle Types	Abwicklungsvorschriften über das Ankündigungs-System im Rahmen von Kraftfahrzeug-Inspektionsverfahren sowie dessen praktische Handhabung
2-5-A-c	Judgement Criteria for Identity of Motor Vehicle Types	Festlegung von Beurteilungsmaßstäben zur fachgerechten Klassifizierung von Kraftfahrzeugen
2-5-A-d	Amendment of 2-5-A-c	Bezeichnungsmethode von Kraftfahrzeugen
2-5-A-e	Submitting Method of Application for Motor Vehicle Type Designation etc.	Beschreibung des Einreichungsverfahrens von Antragsdokumenten für Typ-Prüfungen und Typ-Ankündigungen
2-5-A-f	Preliminary Type Approval Tests for Import Motor Vehicles	Festlegung eines Systems, nach dem japanische Inspektoren in Länder mit Automobilexport nach Japan entsandt werden können, um dort Vorab-Typprüfstests im Zusammenhang mit genehmigungspflichtiger Kraftfahrzeug-einfuhr durchzuführen
2-5-A-g	Enforcement Method of Preliminary Type Approval Tests for Import Motor Vehicles etc.	Ausführungsbestimmungen zu 2-5-A-f
2-5-A-h	Entrustment of the Tests to the Testing Institutes in EC-Member Countries	Festlegung der Bereitschaft japanischer Behörden, die Durchführung von Zulassungs-Tests bestimmter Umfänge („quantifiable items“) an Test-Institute von 4 EG-Ländern zu übertragen (in der Bundesrepublik Deutschland = TÜV)
2-5-A-i	Entry Procedure for Specification Table of Motor Vehicles etc.	Ausfüll-Vorschriften für Vordrucke im Zusammenhang mit der Antragstellung zur Typ-Prüfung oder Typ-Ankündigung
2-5-A-j	Approval Procedure for Type Designation of Carbon Monoxide, etc. Emission Control Devices	Details über die Typ-Prüfung von Systemen zur Kontrolle von CO- und anderen Emissionen, wie sie in den Ausführungsbestimmungen des „Road Vehicles Act“ spezifiziert sind.
2-5-A-l	Requirements for Motor Vehicles to be Submitted for Type Approval Tests	Beschreibung der Anforderungen, die von Fahrzeugen erfüllt werden müssen, welche zur Typ-Zulassung vorgestellt werden.
2-5-B-b	Technical Requirements for Fuel Evaporative Emissions Preventing Devices	Interpretation zu Artikel 31, § 12 der „Safety Regulations“ (1978er Emissions-Kontroll-Vorschriften) sowie Angabe der Technischen Anforderungen an Systeme zur Kontrolle von Verdunstungsemissionen
2-5-B-h	Measuring Method of Exhaust Emission from Light-Duty Vehicles Fueled by Gasoline etc.	Interpretation zu Artikel 31, § 28.3 der „Safety Regulations“ (1978er Emissionskontrollvorschriften) sowie Beschreibung der 10- und 11-mode Abgastest-Verfahren
2-5-B-i	Enforcement of 1975 Exhaust Emission Control Standards	Interpretation zu Artikel 31, § 4 der „Safety Regulations“
2-5-C-a	Test Procedures for Type Approval, mit Einzelvorschriften TRIAS 23-1977 <sup>1)</sup> TRIAS 23-3-1977 <sup>2)</sup> TRIAS 23-4-1972 TRIAS 24-1972 TRIAS 24-2-1974 TRIAS 30-1974 TRIAS 30-1979	Beschreibung der Testverfahren, die anlässlich von Zulassungstests bei Typ-Prüfungen und Typ-Ankündigungen durchgeführt werden 10-mode Abgastest 11-mode Abgastest Verdunstungs-Emissionstest Rauchtest („3-mode“) } für PKW mit Otto-Motoren 6-mode Abgastest } für PKW mit Diesel-Motoren Hitzeschaden-Test (mit 4 Untertests) z. B. für Katalysator-Fahrzeuge Erleichterter Hitzeschaden-Test (nur 1 Test) ab Januar 1981 geplant
2-5-C-b	Standards for Type Approval Testing	Beschreibung der zu 2-5-C-a gehörenden Standards
2-5-C-c	Test Procedure for Hot-Air Blast Emitted from Exhaust Pipe etc.	Beschreibung des Testverfahrens beim Fußgänger-Hitzeschutz-Test am Auspuff von Fahrzeugen mit Systemen zur Kontrolle von CO- oder sonstigen Emissionen
2-5-C-d	Procedures for Implementation of Motor Vehicle Inspection	Beschreibung der anlässlich von Fahrzeuginspektionen anzuwendenden Standards und Interpretationen zu den einzelnen Artikeln der „Safety Regulations“

nach 1981er Ausgabe von [950] (ISBN 4-931137-01-6): <sup>1)</sup> geändert in TRIAS 23-1980; <sup>2)</sup> geändert in TRIAS 23-3-1980

**Bild IV.2-7:** Die als praktische Arbeitsanleitungen bei der Anwendung der Vorschriften des „Road Vehicles Act“ und der „Ordinances“ fungierenden „Circular Notices“ des japanischen Verkehrsministeriums (MOT), nach [950].



**Bild IV.2-8:** Die „MOT-Ordinance No. 67“ zum „Road Vehicles Act“ von 1951 mit ihrem Artikel 31, der die Bestimmungen zur Emissionskontrolle und die 1978er Grenzwerte enthält, nach [951].



### 3. Historische Entwicklung und Ziele der japanischen Emissionskontroll- gesetzgebung für Pkw

Wie in Kap. 1.1 dargestellt wurde, erlebte die japanische Wirtschaft von 1955 bis 1973 einen steilen Aufschwung, mit dem die Bemühungen um koordinierte Verkehrs- und Städteplanung sowie zum Umweltschutz nicht mithalten konnten. Die Bemühungen des Gesetzgebers, dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten, lassen drei Hauptabschnitte erkennen {952}:

1. Aufbau einer Umweltschutzverwaltung (1955 bis 1965)
2. Systematisierung dieser Verwaltung in den späten 60er Jahren
3. Einrichtung der Umweltschutzbehörde (EA) und Verbesserung der Umweltschutzverwaltung in der ersten Hälfte der 70er Jahre

#### 3.1 Entwicklung der allgemeinen Umweltschutzgesetzgebung

Als schon in den frühen 60er Jahren die Vorteile des materiell schnell verbesserten Lebensstandards von den Nachteilen einer ebenso schnell verschlechterten Luft- und damit Lebensqualität in den großen Städten aufgewogen zu werden drohten, begannen zunächst lokale Behörden, Rauch- und Rußemissionen aus Industriebetrieben mittels sogenannter "prefectural ordinances" zu begrenzen, und auch die Regierung limitierte diese Emissionen 1962 durch das "Smoke and Soot Regulation Law" (Gesetz Nr. 146) {953}.

Im Jahre 1964 erfolgte die Gründung des "Council for Promotion of Antipollution Measures", der aus den Vize-Ministern verschiedener Ministerien und Behörden zusammengesetzt war. Ein "Pollution Council" wurde 1965 innerhalb des "Ministry of Health and Welfare" aufgestellt, und ein spezieller Ausschuß sollte mögliche Maßnahmen gegen industrielle Umweltverschmutzungen studieren {954}. Nach zwei Jahren Bearbeitung innerhalb der Regierung konnte 1967 das "Basic Law for Environmental Pollution Control" in Kraft treten. Es sollte Grundlagen und Ziele einer Umweltschutzverwaltung innerhalb der Ministerien und Behörden festlegen und Methoden zur Koordination dieser verwaltungstechnischen Bemühungen mit der Aufgabe, umfangreiche Maßnahmen gegen die immer ernster werdende Umweltsituation zu fördern, an die Hand geben {954}.

Das Gesetz spezifizierte sechs Bereiche von Umweltverschmutzung: Luft- und Wasserverschmutzung, Geräusch, Erschütterungen, Erd-Senkungen (durch Grundwasser-Abpumpen) und aggressive Gerüche. Es definierte die Verantwortungen von Industrie, Regierung und lokalen Behörden bei der Vermeidung und Kontrolle dieser Schädigungen. Weiterhin wurde die Aufstellung von Umweltqualitätskriterien und anderen Maßnahmen vorgese-  
hen. Schließlich etablierte das Gesetz noch den "Central Council for Control of Environmental Pollution" und die "Conference on Environmental Pollution Control", der der Premierminister vorstand, und in der wichtige Dinge bezüglich Gegenmaßnahmen zur Umweltverschmutzung sowie zu Koordinations- und politischen Fragen behandelt wurden

{954}. Aufgrund der in Artikel 10 des "Basic Law" definierten Umweltbeeinträchtigung "Luftverschmutzung" wurde im Jahre 1968 das "Smoke and Soot Regulation Law" durch den "Air Pollution Control Act" ersetzt, der auch erstmals die Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen behandelte {955}.

Nachdem sich die Umweltsituation Ende der 60er Jahre nochmals drastisch verschlechtert hatte, bildete die Regierung im Jahre 1970 das "Pollution Countermeasures Headquarter", dem der Premierminister vorstand. Im Rahmen seiner Aufgabe, die Umweltschutzverwaltung zu verbessern, wurde entschieden, das Gesetzssystem zur Umweltverschmutzung drastisch zu überarbeiten. In einer außerordentlichen Sitzung Ende 1970 (der sogenannten "Pollution Diet") wurden 14 Umweltschutzgesetze in Kraft gesetzt oder revidiert. Auch das "Basic Law for Environmental Pollution Control" erfuhr mehrere einschneidende Revisionen, von denen die wichtigsten kurz wiedergegeben werden sollen {956}.

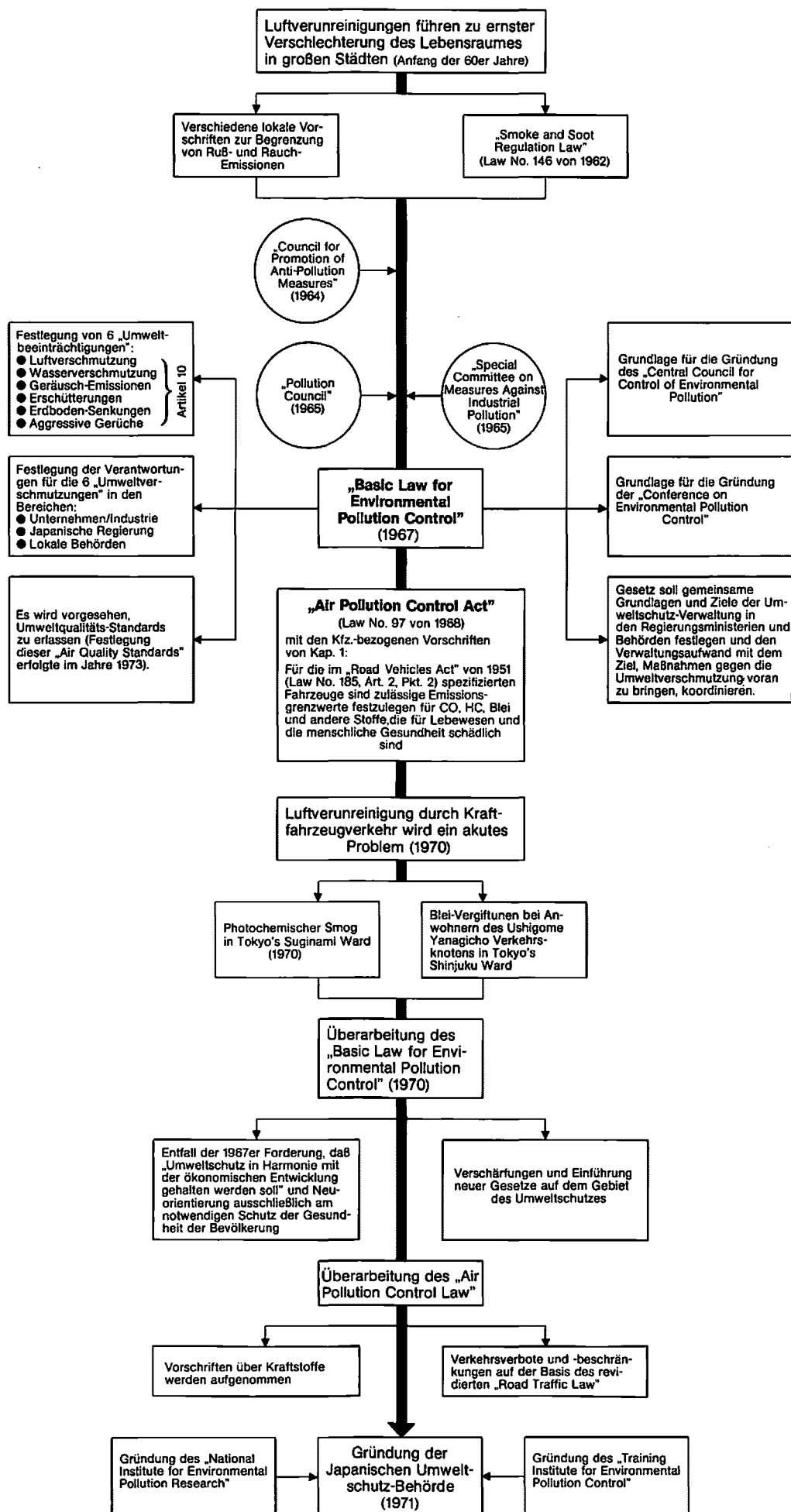
Enthielt die 1967er Fassung des obengenannten Gesetzes noch die Formulierung:

"An effort shall be made to keep preservation of the living environment in harmony with economic development" {957},

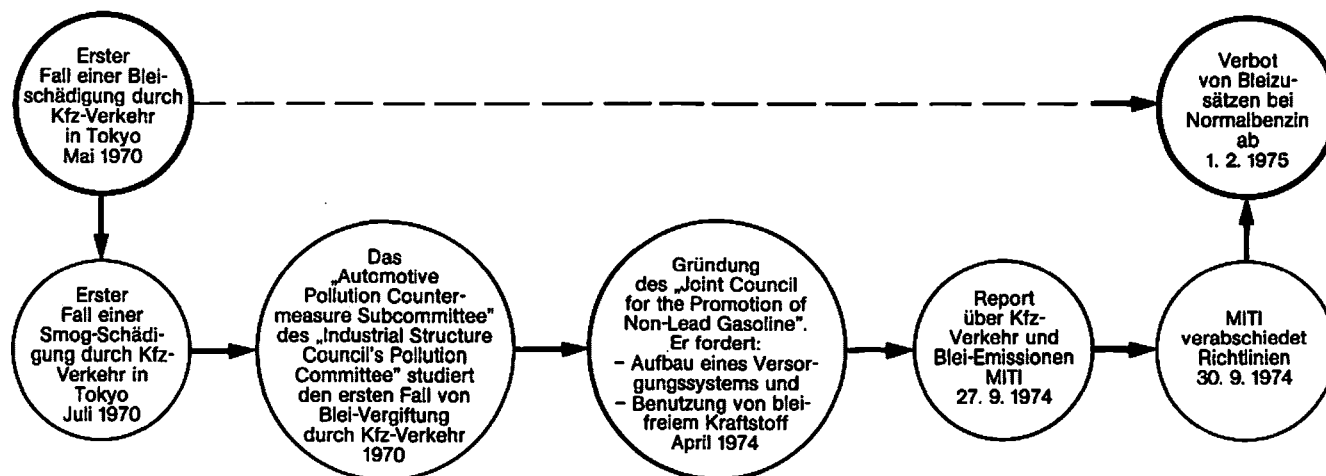
so wurde dieser Satz in der 70er Fassung gestrichen. Diese Entscheidung basierte auf dem neuen Ziel, den Aufwand zum Umweltschutz nicht mehr an den wirtschaftlichen Möglichkeiten, sondern an den zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung notwendigen Maßnahmen zu orientieren. Dieser markante Auffassungswandel stellt eine Parallelentwicklung zur Philosophie der zu etwa dem gleichen Zeitraum in den USA verabschiedeten "Clean Air Amendments" von 1970 dar (siehe dazu Teil II, Kap. 4.3.3).

Um der Luftverschmutzung in Stadt- und anderen Gebieten Herr zu werden, führte das 70er Gesetz auch Vorschriften über Kraftstoffe ein, und die Maßnahmen zur Kontrolle der Luftverunreinigungen durch Kraftfahrzeuge wurden durch Verkehrsverbote und -einschränkungen aufgrund des revidierten "Road Traffic Law" verschärft. Gleichzeitig wurde lokalen Behörden künftig die Möglichkeit eingeräumt, eigene strengere Emissionskontrollvorschriften mittels "prefectural ordinances" zu erlassen, wenn die örtliche Umweltsituation dies erforderlich machte. Generell delegierte die Regierung in beträchtlichem Maße gesetzgeberische Vollmachten an die lokalen Behörden, um dem Problem der Umweltverschmutzung individuell optimal begegnen zu können {958}. Im dritten Abschnitt der eingangs zitierten Entwicklungsphase der japanischen Umweltschutzgesetzgebung wurde im Juli 1971 die "Environment Agency" (EA) gegründet und mit den bereits in Kap. 2.3 beschriebenen Aufgaben betraut.

Obwohl Verbesserungen der Luftqualität bezüglich SO<sub>2</sub> und CO spürbar wurden, verschlechterten sich nach wie vor noch immer die NO<sub>x</sub>-Emissionen, und Situationen mit fotochemischem Smog traten verstärkt auf. An diesen Immissionen waren nicht nur ortsfeste sondern auch mobile Quellen, wie der Kraftfahrzeugverkehr, beteiligt. Das Problem der Umweltverschmutzung durch Automobile trat besonders deutlich in den



**Bild IV.3-2:** Entwicklung der japanischen Umweltschutzgesetzgebung am Beispiel der luftqualitätsrelevanten Vorschriften und Ereignisse bis zur Gründung der Umweltschutzbehörde „Environment Agency“, nach [942, 945, 952, 959].



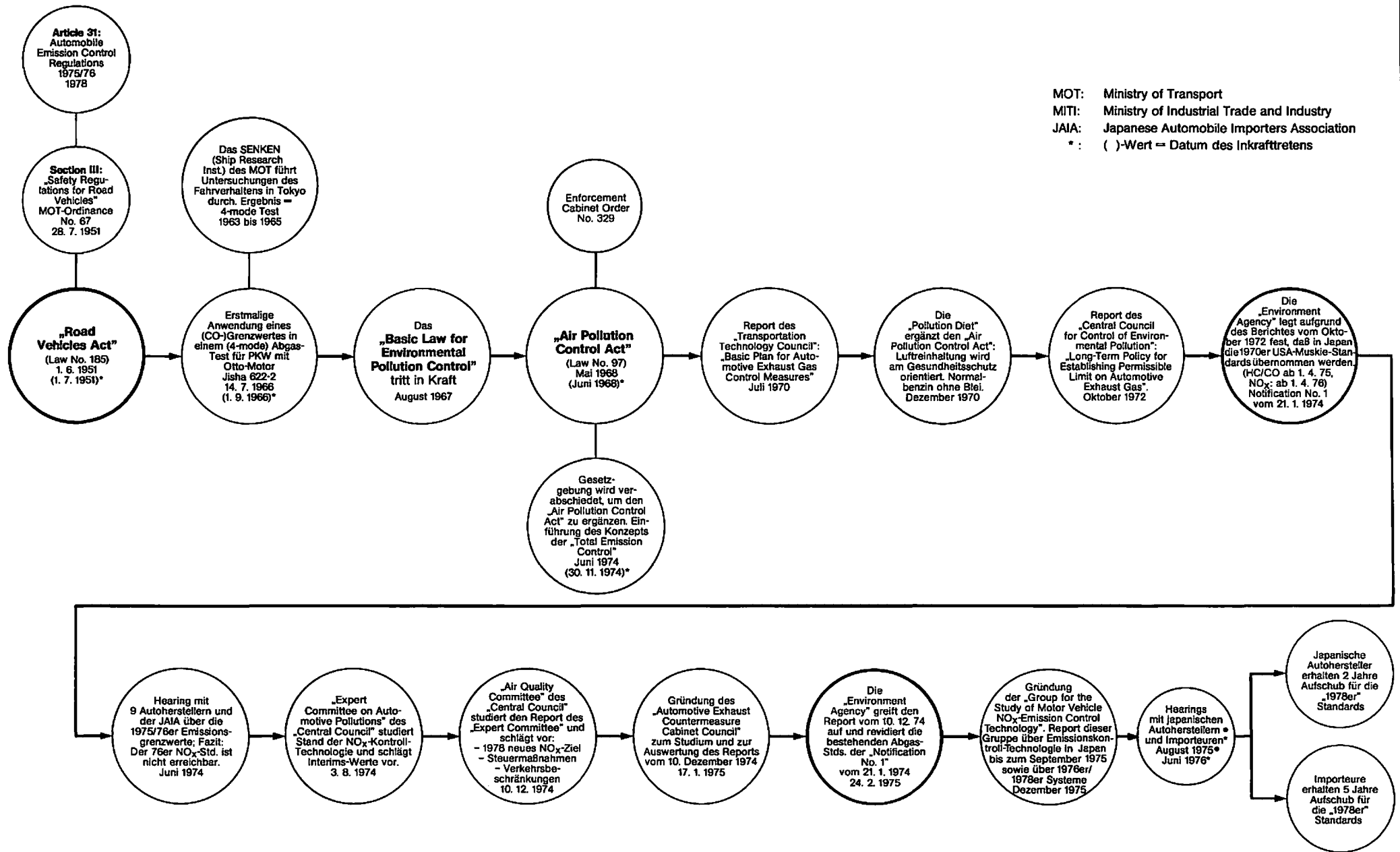
**Bild IV.3-1:** Entwicklung der „Blei-Gesetzgebung“ für Normalbenzin in Japan, nach [959].

Vordergrund, als sich im Mai 1970 der "Lead Pollution Incident" an Tokyo's Ushigome Yanagi-cho und im Juli 1970 der "Photochemical Smog Incident" an der Rissho High School in Suginami Ward ereigneten [923]. Als erste Reaktion auf diese Vorfälle, forderte der im April 1974 gegründete "Joint Council for the Promotion of Non-Leaded Gasoline" dazu auf, ein Versorgungssystem für unverbleiten Kraftstoff aufzubauen und zu benutzen [923]. Die Entwicklung des "Bleiverbotes" für Normalbenzin ist in Bild IV.3-1 wiedergegeben. Im Februar 1975 begann die Versorgung mit blei-freiem Kraftstoff. Die hier geschilderten Entwicklungsschritte der japanischen Umweltschutzgesetzgebung sind noch einmal in Bild IV.3-2 zusammengefaßt.

### 3.2 Entwicklung spezieller Emissionskontrollgesetzgebung für Kraftfahrzeuge

Die Maßnahmen gegen Schadstoff-Emissionen aus dem Automobilabgas wurden im September 1966 durch den CO-Grenzwert für neue Fahrzeuge eingeleitet. Dieser Grenzwert wurde durch den "Air Pollution Control Act" von 1968 überholt. Ein Umweltqualitätsstandard für CO wurde im Februar 1970 erstellt, und im August desselben Jahres wurden alle im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeuge in die Emissionskontrollgesetzgebung einbezogen [960, 961, 962]. Im April 1973 erfolgte die Einführung einer fahrzeugmassenbezogenen Abgasemissionskontrollgesetzgebung sowohl für HC wie auch für  $\text{NO}_x$ . Im Mai wurde die Installation von Systemen und Teilen, die HC und  $\text{NO}_x$ -Emissionen verminderten, an allen im Verkehr befindlichen Fahrzeugen gefordert [960, 961].

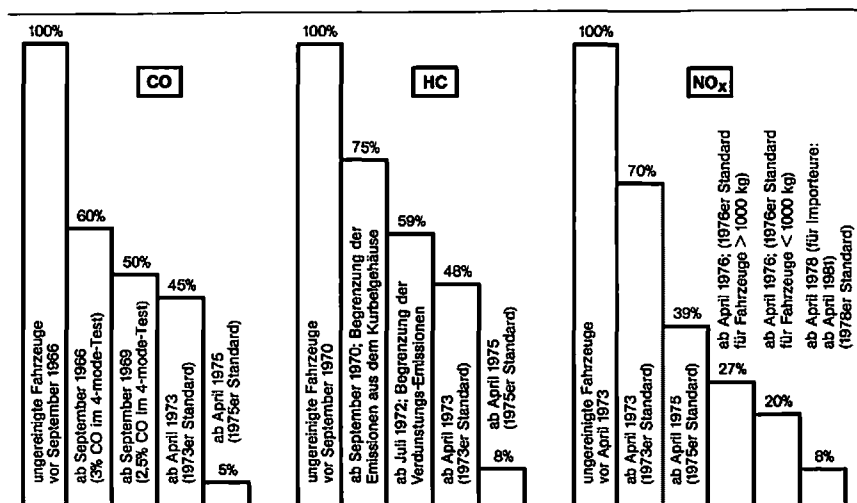
Im Oktober 1972 hielt man eine drastische Verschärfung der Emissionskontrollbestimmungen für erforderlich, um die immer stärker werdende Umweltverschmutzung durch Automobile zu stoppen. Als Ziel setzte man sich, zum Rechnungsjahr 1975 für die beiden Schadstoffe HC und CO sowie zum Rechnungsjahr 1976 für  $\text{NO}_x$  eine gleich starke Emissionsabsenkung zu erreichen, wie sie in den 1970er Muskies-Vorschlägen der USA vorgesehen waren [963, 964]. Trotz einiger von verschiedenen Automobilherstellern gestellten Aufschubanträge wurden die 1975er HC-, CO- und  $\text{NO}_x$ -Standards im Januar 1974 in Kraft gesetzt und mußten termingerecht erfüllt werden. Lediglich die "1976er Standards" wurden für einheimische Hersteller um 2 und für Importeure um 5 Jahre aufgeschoben. Während die zur Erfüllung dieser Standards notwendige neuar-



**Bild IV.3-3:** Entwicklung der japanischen Emissionskontroll-Gesetzgebung für PKW mit Übernahme und Aufschub der „Muskie Standards“ aus den „Clean Air Act Amendments“ der US-Gesetzgebung von 1970, nach [940, 942, 945, 952, 963, 966].

tige Technologie entwickelt wurde, mußten jedoch Interims-Grenzwerte erfüllt werden, die das mit den konventionellen (1975er) Technologien bestmögliche  $\text{NO}_x$ -Emissionsniveau repräsentierten. Als "baseline" (Ausgangs-Emissionsniveau) setzt man das vor März 1973 (d.h. an noch nicht  $\text{NO}_x$ -kontrollierten Fahrzeugen) vorhandene  $\text{NO}_x$ -Emissionsniveau mit 100 % an. Damit verringerten die Grenzwerte vom April 1976 das  $\text{NO}_x$ -Niveau von schweren Fahrzeugen um 73 % und das von leichten Fahrzeugen um 80 % [965].

Obwohl mit der Erfüllung dieser sogenannten japanischen "Muskie"-Standards (von denen der besonders kritische  $\text{NO}_x$ -Grenzwert z.B. 0,25 g/km beträgt) auch durch Importfahrzeuge spätestens 1981 zu rechnen ist, wird befürchtet, daß durch das weiterhin steigende Verkehrsaufkommen die erreichten Verbesserungen zunichte gemacht werden. Als einzigen Ausweg (außer einer Verschärfung der Emissions-Grenzwerte) sieht die



**Bild IV.3-4:** Geplante Emissions-Absenkerungsraten durch den Einsatz der verschiedenen Grenzwertstufen vom ungereinigten Fahrzeug bis zur modernsten Katalysatortechnologie für die Endstufe der japanischen Emissionskontroll-Gesetzgebung für PKW mit Otto-Motoren, nach [967].

japanische Regierung die Durchsetzung eines Systems zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens an, wobei Beschränkungen nicht auszuschließen sind und eine Verlagerung der Transportnachfrage von Automobilen auf andere Verkehrsmittel eingeschlossen ist [939]. Die hierfür vorgeschlagenen und teilweise schon

in die Tat umgesetzten Maßnahmen wurden bereits am Schluß von Kap. 1 erwähnt.

Die zuvor skizzierte Entwicklung der Emissionskontrollgesetzgebung für Kraftfahrzeuge ist noch einmal in Bild IV.3-3 graphisch dargestellt, Bild IV.3-4 zeigt die durch die Gesetz gewordenen Emissionsgrenzwerte für Pkw angestrebten und berechneten Emissions-Reduktionsraten.

#### 4. Entwicklung der japanischen Emissionsgrenzwerte für Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren

Die Entwicklung der in Japan Gesetz gewordenen Begrenzungen für Schadstoffemissionen aus Pkw ist in Bild IV.4-1 für Pkw mit Otto-Motoren und in Bild IV.4-2 für Pkw mit Diesel-Motoren chronologisch zusammengefaßt. Diese Tabellen enthalten die wichtigsten zum Verständnis der Emissionsstandards notwendigen Informationen. Es wurde bei der Zusammenfassung besonders auf die Herausstellung der vorgeschriebenen unterschiedlichen Anwendungsdaten dieser Grenzwerte für japanische Hersteller und für Importeure Wert gelegt, da Japan das einzige Land ist, in dem Importeuren eine derartige Vergünstigung gegenüber den einheimischen Herstellern gewährt wird.

Jahr	KGH <sup>1)</sup>	Evap. <sup>2)</sup>	Leerlauf		Abgas-Test						Dim.	Fahr- zyklus	Meßtechnik	Einsatzdatum			Bemerkungen
			CO	HC	HC		CO		NO <sub>x</sub>					Für neue Modelle	Für d. lfd. Produkt.	Für Im- porteure	
			[Vol %]	[ppm]	mean <sup>3)</sup>	max <sup>4)</sup>	mean <sup>3)</sup>	max <sup>4)</sup>	mean <sup>3)</sup>	max <sup>4)</sup>							
1966	—	—	—	—	5)		3.0		—		Vol. %	4-mode	Kontin. Probenahme und Messung · Be- wertung bestimmter Phasen, Angabe eines Durchschnittswertes	1.9.1966	1.9.1967	Der 4-mode- Test war nur für „designated vehicles“ gültig. Importe gehören je- doch zu den „non-desig- nated vehicles“ (einzige Ausnahme zu dieser Zeit: VW 1200)	1) Emissionen aus dem Kurbelgehäuse 2) Verdunstungs-Emissionen [9/Tab. 1] 3) zu erfüllen als Typprüfwert und als Durchschnitts- wert in der Serie, sofern Verkaufsstückzahl ≥ 1200 Einheiten/Jahr beträgt 4) zu erfüllen als Typprüfwert, sofern Verkaufsstück- zahl < 1200 Einheiten/Jahr beträgt und generell als Einzelwert in der Serie 5) HC mitmessen und angeben, jedoch ohne Grenz- wert
1969	—	—	—	—	5)		2.5		—		Vol. %	4-mode	„	1.9.1969	1.1.1970		6) PCV: Positive Crankcase Ventilation-System 7) Für alle im Verkehr befindlichen Fahrzeuge ab 1. 8. 1970. Zum gleichen Zeitpunkt für neue Fahrzeuge = 4.5 Vol. %.
1970	PCV <sup>6)</sup>	—	5.5 <sup>7)</sup> (4.5)	—	5)		2.5		—		Vol. %	4-mode	„	PCV: 1.9.1970	PCV: 1.1.1971		8) Für alle im Verkehr befindlichen Fahrzeuge ab 1. 10. 1972
1971	PCV	—	5.5 (4.5)	—	5)		1.5		—		Vol. %	4-mode	„	1.1.1971	1.1.1971		9) Ab 1. 5. 1973: Für alle im Verkehr befindlichen Fahr- zeuge Vorschrift zum Einbau eines Teiles/Systems mit Zündzeitpunktspätverstellung zur HC- und NO <sub>x</sub> -Senkung. Einführung sukzessive bis 31. 3. 1975. Ziel: HC: -8%; NO <sub>x</sub> : -20%
1972	PCV	2.0	4.5 <sup>8)</sup>	—	5)		1.5		—		Vol. %	4-mode	„	Evap.: 1.7.1972	Evap.: 1.4.1973		10) Für Importeure Einsatzdatum 1 Jahr aufgeschoben, wenn Zertifizierung vor dem 31. 3. 1976 beendet. 11) ab 1. 1. 1975 für alle im Verkehr befindlichen Fahr- zeuge
1973	PCV	2.0	4.5	—	2.94 9)	3.80	18.4	26.0	2.18 9)	3.0	g/km	10-mode	CVS-Meßtechnik	1.4.1973	Japaner und Importeure: 1.12.1973	1.4.1973	12) für Fahrzeuge < 1000 kg 13) für Fahrzeuge > 1000 kg
1975	PCV	2.0	4.5	1200 <sup>11)</sup>	0.25 7.0	0.39 9.50	2.10 60.0	2.70 85.0	1.20 9.0	1.60 11.0	g/km g/Test	10-mode 11-mode	„	1.4.1975	Japaner: 1.12.1975 Importeure: 1.4.1976	1.4.1975 <sup>10)</sup>	14) für Importeure aufgrund der Hearings im Juni 1976 Aufschub von 3 Jahren genehmigt (Entscheidung des japanischen „Cabinet“ vom 21. 1. 1977).
1976	PCV	2.0	4.5	1200	0.25 7.0	0.39 9.5	2.10 60.0	2.70 85.0	0.85 (0.60) 7.0 (6.0)	1.20 <sup>12)</sup> (0.84) <sup>13)</sup> 9.0 <sup>12)</sup> (8.0) <sup>13)</sup>	g/km g/Test	10-mode 11-mode	„	1.4.1976	Japaner: 1.3.1977 Importeure: 1.3.1978	1.4.1976	
1978	PCV	2.0	4.5	1200	0.25 7.0	0.39 9.50	2.10 60.0	2.70 85.0	0.25 <sup>14)</sup> 4.40	0.48 6.00	g/km g/Test	10-mode 11-mode	„	1.4.1978	Japaner: 1.3.1979 Importeure: 1.4.1981	1.4.1981 <sup>15)</sup>	

**Bild IV.4-1:** Chronologische Zusammenstellung der in Japan für PKW mit Otto-Motoren Gesetz gewordenen Emissionsgrenzwerte.

STANDARD	Abgas-Test [ppm]			Fahrmodus	Meßtechnik	Rauch-Test		Fahrmodus	Meßtechnik	Einsatzdatum		Bemerkungen
	HC mean <sup>1)</sup> max. <sup>2)</sup>	CO mean <sup>1)</sup> max. <sup>2)</sup>	NO <sub>x</sub> mean <sup>1)</sup> max. <sup>2)</sup>			Filter- Schwärzung				Für neue Modelle	Für die lfd. Produktion	
1972	—	—	—	—	—	50%		„3-mode“ <sup>3)</sup>	Für „3-mode“ Test und Freie Beschleunigung: Mit einer Pumpe werden in 1 bis 2 s 330 ml Abgas durch ein Filterpapier gesaugt. Hierbei darf keine Luftverdünnung auftreten. Nach der Messung wird die Schwärzung des Filterpapiers mit einem Opazimeter gemessen. Die Messung ist für jeden Meßpunkt mindestens 2mal zu wiederholen, wobei der Mittelwert auf Standard-Bedingungen korrigiert wird. $K = M - 0.24 (t - 20) + 0.16 (P - 760)$ $K$ = korrigierter Wert (% Schwärzung) $M$ = gemessener Wert (% Schwärzung) $t$ = Umgebungstemperatur (°C) $P$ = Umgebungsdruck (mmHg)	1. 7. 1972	1. 7. 1972	1) zu erfüllen als Typprüfwert und als Durchschnittswert der Serie, sofern Verkaufsstückzahl $\geq 1200$ Einheiten/Jahr beträgt 2) zu erfüllen als Typprüfwert, sofern Verkaufsstückzahl $< 1200$ Einheiten/Jahr beträgt und generell als Einzelwert in der Serie. 3) Vollast-Test bei $n_1 = 0.4 n_{Nmax}$ , $n_2 = 0.6 n_{Nmax}$ und $n_3 = n_{Nmax}$
1974	510 670	790 980	450 590 <sup>4)</sup> 770 1000 <sup>5)</sup>	6-mode	Am Motor im Fahrzeug oder auf dem Motorprüfstand werden jeweils in der letzten der 3 Minuten des jeweiligen Fahrzustandes die Emiss.-Konzentrationen mit folgenden Geräten gemessen: CO } mit NDIR NO } HC mit HFID Dann werden berechnet: $CO_{ppm} = \sum (CO_{conc} \cdot K \cdot WF)$ $HC_{ppm} = \sum (HC_{conc} \cdot WF)$ $NO_{ppm} = \sum (NO_{conc} \cdot K \cdot KH \cdot WF)$ mit: $HC_{conc}$ etc. = gemessene Konzentration je Fahrzustand. $K$ = Umrechnungsfaktor für CO und NO von trocken auf feucht $KH$ = Luftfeuchte-Korrekturfaktor $WF$ = Wichtungsfaktor	50%		„3-mode“		1. 9. 1974	1. 4. 1975	4) Nebenkammer-Motoren 5) Direkt-Einspritzer
1975	510 670	790 980	450 590 <sup>4)</sup> 770 1000 <sup>5)</sup>	6-mode		50%		„3-mode“		—	—	6) Für alle im Verkehr befindlichen Fahrzeuge ab 1. 1. 1975.
						50%		Freie Beschleunigung <sup>6)</sup>				
1977	510 670	790 980	380 500 <sup>4)</sup> 650 850 <sup>5)</sup>	6-mode		50%		„3-mode“		1. 8. 1977	1. 4. 1978	
						50%		Freie Beschleunigung				
1979	510 670	790 980	340 450 <sup>4)</sup> 540 700 <sup>5)</sup>	6-mode		50%		„3-mode“		1. 4. 1979 <sup>7)</sup>	1. 3. 1980 <sup>7)</sup>	7) Für Importeure Aufschub bis 1. 4. 1981. Dieser Aufschub wurde vom MOT ohne Antragstellung freiwillig gewährt, da den Importeuren für Fzge. mit Otto-Motoren auch Ausnahme gewährt wurde.
						50%		Freie Beschleunigung				

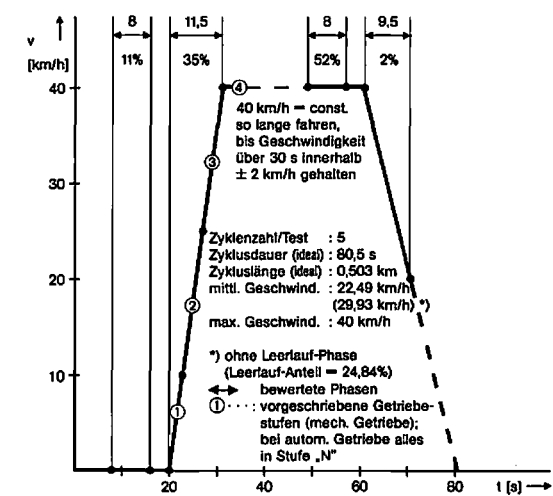
**Bild IV.4-2:** Chronologische Zusammenstellung der in Japan für PKW mit Diesel-Motoren Gesetz gewordenen Emissionsgrenzwerte.





Das Ergebnis der Arbeiten war das erste japanische Fahrprogramm für Pkw mit Otto-Motoren im Zusammenhang mit einer Emissions-Konzentrationsmessung (Mittelwertbildung) in den obengenannten 4 Fahrzuständen: der sogenannte 4-mode-Test wie er in Bild IV.5-1 abgebildet ist.

Er wurde am 14.07.1966 vom MOT als Standard-Fahrzyklus übernommen und bildete in der Zeit vom 01.09.1966 bis 01.04.1973 die Grundlage des gesetzlichen Emissions-tests. Es sei darauf hingewiesen, daß der 4-mode-Test nur für die sogenannten "designated" Fahrzeuge galt. Unter diese Klassifizierung fallen normalerweise nur die japanischen Fahrzeughersteller. Als bis 1980 einzige Ausnahme ist VW zu nennen. Von diesem Importeur war zu jener Zeit auch der VW 1200 als "designated" Fahrzeug



**Bild IV.5-2:** Kurzverfahren des japanischen 4-mode Fahrprogramms (5maliges Wiederholen des „40-km/h-Teiles“ mit [ideal]-Dauer von 6 min 42,5 s), nach [941].

Da sich das erste Emissionskontrollgesetz Japans nur auf den CO-Gehalt im Abgas beschränkte, wurde der neue Test bei Quervergleichen zu den Fahrzyklen anderer Länder damals auch nur mit dem CO-Ergebnis aus dem California 7-mode-Test verglichen. Diese Arbeiten führte das "Shigen Gijutsu Laboratory" (das heutige "environmental Nature Resource Laboratory") des MITI durch [941]. Folgender Zusammenhang wurde gefunden:

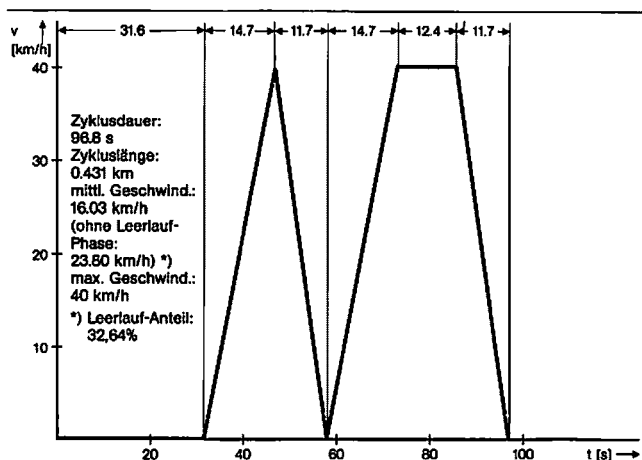
$$\frac{\text{CO (Vol.-%) im Japan 4-mode-Test}}{\text{CO (Vol.-%) im Kalifornien 7-mode-Test}} < 1.25$$

Das CO-Ergebnis eines Japan 4-mode-Tests war also mindestens 25 % höher als der im kalifornischen 7-mode-Test gefundene Wert.

### 5.2 Der "Osaka 6-mode-Zyklus"

Im Jahre 1967 führte auch die Stadtregierung von Osaka Fahrverhaltens-Untersuchungen durch und stellte (für die Verhältnisse in Osaka) fest, daß der prozentuale Leerlaufanteil am normalen Fahrverlauf hier sogar 40 % (im Gegensatz zu den im Februar 1968 vom "SENKEN-Laboratory" des MOT für Tokyo ermittelten 35,6 %) betrug [941].

Aufgrund dieser Untersuchungen vom 29.06. bis 13.07.1967 auf einer 15 km langen



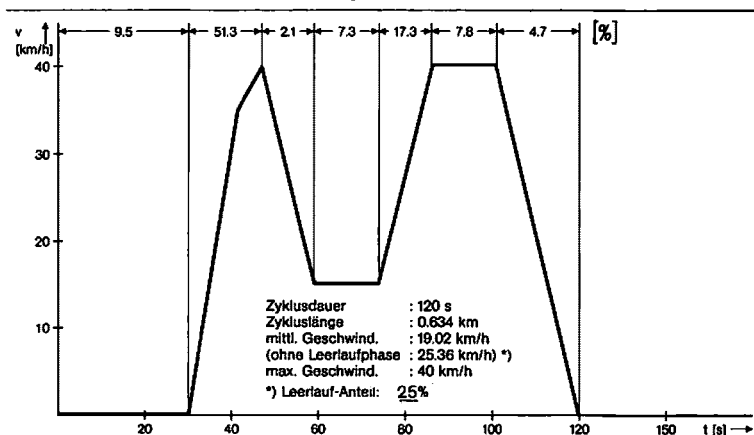
**Bild IV.5-3:** Der OSAKA 6-mode Zyklus (im Jahre 1967 durch die Stadtregierung von Osaka vorgeschlagen, erlangte jedoch keine Gesetzeskraft), nach [941].

Strecke im Osaka Stadtgebiet wurde der sogenannte Osaka 6-mode-Zyklus zur Untersuchung von eigenen Emissionskontrollgesetzen vorgeschlagen [941]. Der Zyklus ist in Bild IV.5-3 wiedergegeben, er wurde jedoch nur zu Versuchszwecken eingesetzt und fand keine gesetzliche Anwendung.

### 5.3 Die "SENKEN 8-mode-Zyklen"

Innerhalb des MOT gab es unterschiedliche Auffassungen über den 4-mode-Test, der nicht berücksichtigte, daß die Abgasvolumina von Hubraum und Fahrzeugmasse abhängen. Daher begann man erneut, das Fahrverhalten im praktischen Verkehr mit dem Ziel zu untersuchen, von der Begrenzung mittlerer Emissionskonzentrationen auf die während eines Fahrprogramms ermittelten Massenemissionen überzugehen [941]. Wie schon bei den Fahrzyklus-Entwicklungsarbeiten in Kalifornien (Teil II, Kap. 6.5) beschrieben, bestanden die anfänglichen Probleme solcher Untersuchungen zunächst darin, die Messung, Aufzeichnung und Auswertung von Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrzeit etc. zu verbessern.

Die im Zusammenhang mit obengenannter Zielsetzung angesprochenen Arbeiten wurden erstmalig im Jahre 1967 vom "SENKEN-Laboratory" des MOT durchgeführt [941]. Weitere Versuche folgten 1968 auf einer Straßenführung, die (bezüglich Verkehrsvolumen und Verkehrsfluß) als typische Kombination des inneren und äußeren Stadtbezirks von Tokyo angesehen wurde [941]. Die Fahrzeuggeschwindigkeiten wurden mit einem 5. Rad aufgezeichnet und die Getriebebeschaltungen notiert. Als Resultat ergaben sich bestimmte Zeitverteilungen von Leerlauf, Beschleunigung, Konstantfahrt und Verzögerung.



**Bild IV.5-4:** Der 8-mode Zyklus des „Senpaku Kenkyujo (SENKEN)-Laboratory“, (heutiges „TRIAS-Laboratory“) des japanischen MOT („Ministry of Transport“), mit Wichtung [%] der einzelnen Fahrmodi (in der Zeit von 1967 bis 1968 mit zwei weiteren 8-mode Zyklen ermittelt und vorgeschlagen, erlangte jedoch keine Gesetzeskraft, nach [941].

Nach einer Häufigkeitsanalyse von Haltevorgängen und Fahrzuständen zwischen den Stopps fand man heraus, daß relativ einfache Fahrverläufe, die aus 3 bis 4 charakteristischen Fahrmodi bestanden, vorherrschten. Fahrverläufe mit 15 und mehr verschiedenen Fahrmodi traten nur einmal während der gesamten Untersuchungszeit auf. Man fand bestätigt, daß "stop-and-go" mit häufigem Anhalten das charakteristische Merkmal

des Stadtverkehrs in Tokyo war {941}.

Aufgrund dieser Versuche schlug das MOT-Labor drei verschiedene Fahrzyklen vor, von denen derjenige in Bild IV.5-4 wiedergegeben ist, der als direkter Vorläufer des schließlich Gesetz gewordenen 10-mode-Zyklus angesehen werden kann.

5.4 Der "10-mode-Zyklus mit Bewertungsfaktoren"

Angeregt durch die "Muskie"-Vorschläge in den USA sowie durch das Argument des "Council for Transport Technics", NO<sub>x</sub> reduzieren zu müssen, wurde eine genauere Simulation des Fahrverhaltens bei den auf dem Rollenprüfstand zu fahrenden Tests durch Einführung eines 10-mode-Zyklus vorgesehen {942}.

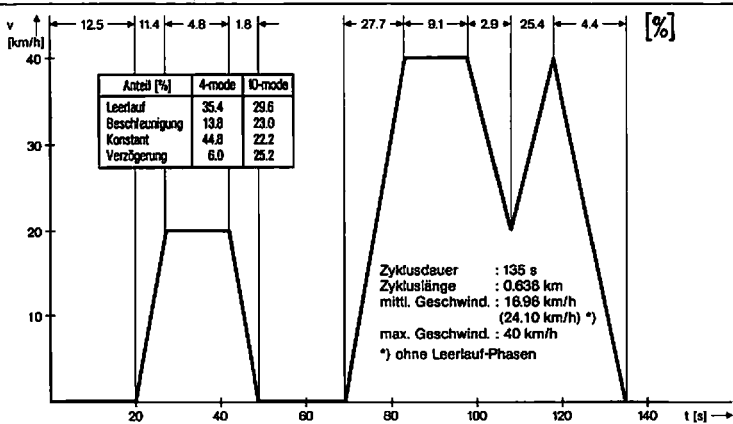


Bild IV.5-5: Der japanische 10-mode Zyklus zur Konzentrationsmessung der Schadstoffemissionen im Abgas mit Wichtung [%] der einzelnen Fahrmodi, nach [968] (dieser Zyklus erlangte keine Gesetzeskraft).

semissionsmessung. Sein Verlauf ist in Bild IV.5-5 dargestellt, gleichzeitig sind die Bewertung der Fahrmodi aufgezeigt sowie deren Verteilung mit denen des 4-mode- Zyklus verglichen.

5.5 Der "endgültige 10-mode-Zyklus"

Der aus den zuvor genannten Arbeiten hervorgegangene 10-mode-Fahrzyklus für den ab 01.04.1973 Gesetz gewordenen Heißstart-Emissionstest der japanischen Abgas-Prüfung von Pkw mit Otto-Motoren ist in Bild IV.5-6 wiedergegeben. Er wurde gemeinsam mit

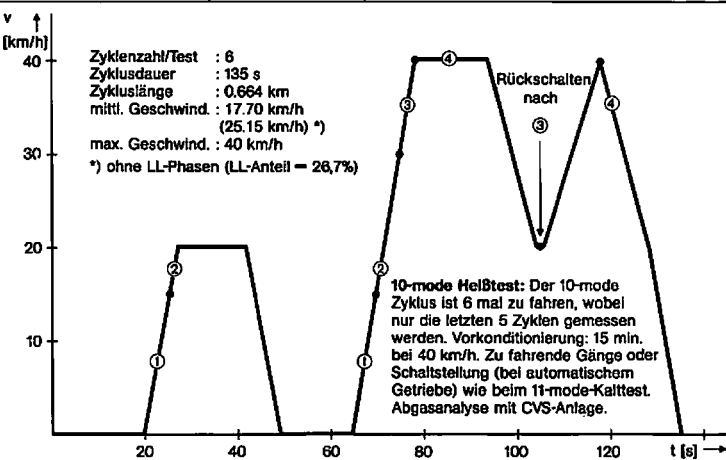


Bild IV.5-6: Der endgültige 10-mode Zyklus der japanischen „Abgas-Zertifizierung“ für PKW mit Otto-Motoren.

Wie beim 4-mode- und den SENKEN 8-mode-Zyklen versuchte man zunächst, auch noch beim neuen 10-mode-Zyklus die Emissionskonzentrationen aus den einzelnen Fahrmodi mit Gewichts-faktoren zu bewerten {968}. Der vom TRIAS-Labor des MOT hierbei zugrunde gelegte Fahrverlauf, der keine Gesetzeskraft erlangte, unterschied sich noch etwas vom späteren endgültigen 10-mode-Test mit Massenemis-

sionsmessung. Sein Verlauf ist in Bild IV.5-5 dargestellt, gleichzeitig sind die Bewertung der Fahrmodi aufgezeigt sowie deren Verteilung mit denen des 4-mode- Zyklus verglichen.

der Massenemissionsmeßtechnik der FTP-72 eingesetzt, so daß die bisher angewendeten und oft mühsam etablierten Bewertungsfaktoren entfallen konnten. Nach heutiger Auffassung maßgebender Stellen des MOT hat sich dieser Zyklus, der gut das Fahrverhalten in Tokyo wiedergibt, sowohl bei Emissionstests wie auch bei Messungen des Kraftstoffverbrauches bewährt. Der Übergang auf einen neuen (eventuell internatio-

nalen) Fahrzyklus wird als sehr problematisch angesehen, da dieser Übergang praktisch eine Verschärfung der Emissionskontroll-Vorschriften bedeuten und sich daher sogar auf die zur Emissions- und Verbrauchssenkung eingesetzten Technologien auswirken würde. Trotzdem investieren japanische Behörden erhebliche Zeit und Kosten in die laufende Erforschung des jeweils neuesten repräsentativen Fahrverhaltens in japanischen Städten (wie z. B. in Kap. 5.7 gezeigt wird) [942, 944].

### 5.6 Der "11-mode-Zyklus"

Zur Untersuchung der Abgas-Emissionen von Pkw, die mit kaltem Motor gestartet werden und dann in das Stadtgebiet einfahren, wendete das MOT in Ergänzung zu dem mit betriebswarmem Motor gefahrenen 10-mode-Zyklus aufgrund der "MOT-Ordinance" Nr. 2 vom

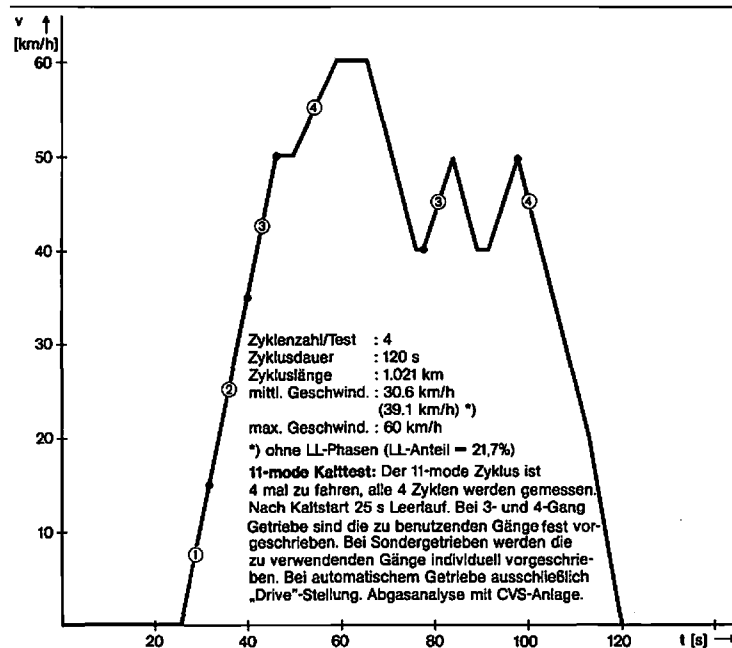


Bild IV.5-7: Der 11-mode-Zyklus der japanischen „Abgas-Zertifizierung“ für PKW mit Otto-Motoren.

Januar 1974 ab 01.04.1975 den in Bild IV.5-7 gezeigten sogenannten 11-mode-Zyklus an [941].

Zur Entwicklung dieses Zyklus führte das MOT im Jahre 1973 Fahrverhaltens-Untersuchungen an Fahrzeugen durch, die in Außenbezirken von Tokyo mit kaltem Motor starteten und dann in die City fuhren. Während die 10-mode-Zyklus-Versuche nur unter normalen Verkehrsflußbedingungen erfolgten, schlossen die 11-mode-Zyklus-Untersuchungen sowohl die morgendliche "rush hour" wie auch "congested traffic"-Bedingungen ein [941].

### 5.7 Der "Tokyo Metropolitan Zyklus"

Mit dem Ziel, den bis dahin bei der Ermittlung von repräsentativen Fahrzyklen weitgehend vernachlässigten Zusammenhang des aktuellen Fahrverhaltens mit dem jeweils

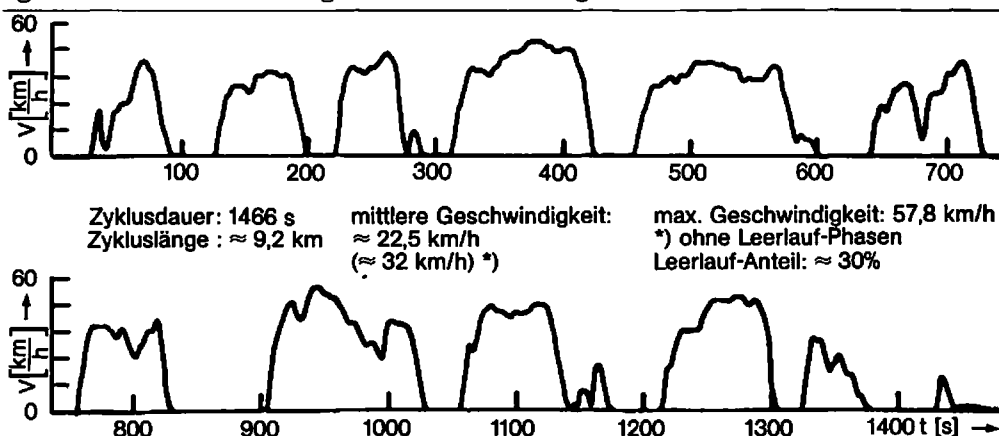
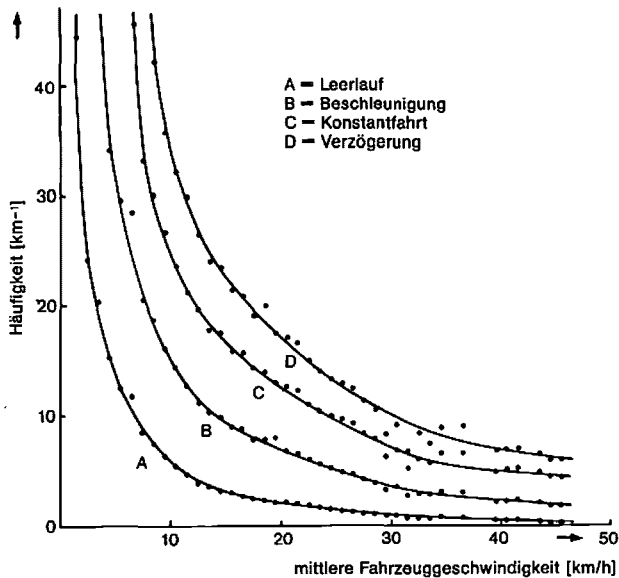


Bild IV.5-8: Der aus 760 untersuchten „short trip sections“ als für den Stadtverkehr von Tokyo repräsentativ ausgewählte, aus den Verkehrsverhältnissen der Ring-Hauptstraße Meiji Dori hergeleitete „Tokyo Metropolitan Cycle“, nach [970, 974].

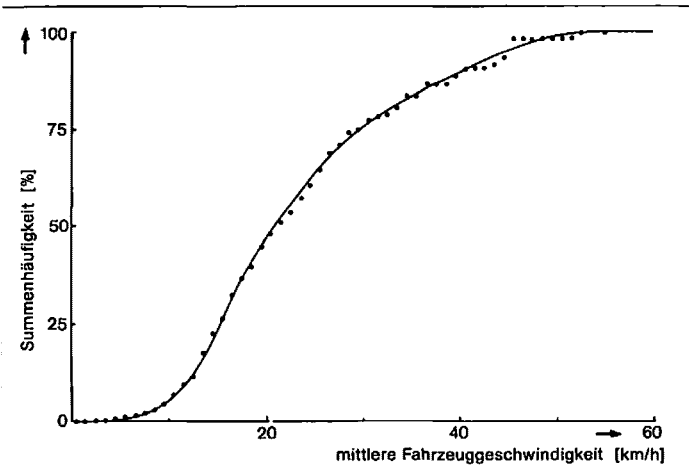
vorliegenden Verkehrsvolumen zu berücksichtigen, führte im Jahre 1976 das "Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection" (TMRIEP) Untersuchungen des aktuellen Fahrverhaltens in Tokyo durch.

Unter dem Gesichtspunkt, daß selbst der auf nur einer bestimmten Straße ermittelte Fahrverlauf ganz erheblich vom jeweiligen Verkehrsvolumen abhängt, und dieser Einfluß bei Betrachtung verschiedener inner- und randstädtischer Straßen noch wesentlich größer ist, versuchte man diese Eigenschaften des Verkehrsflusses durch Erfassung der Verteilungshäufigkeit bestimmter Fahrverläufe zu klären {969}.

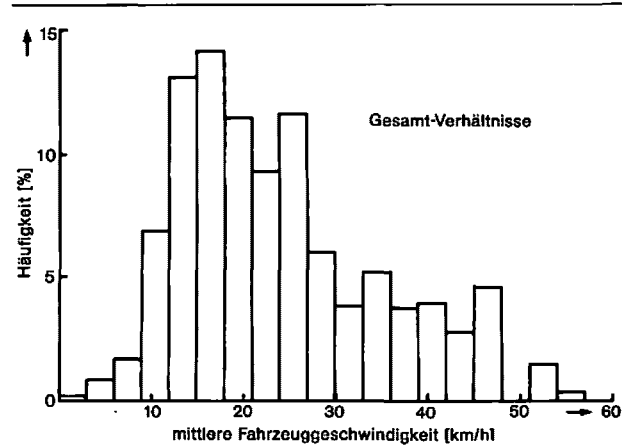
Das Resultat dieser Arbeiten war der sogenannte "Tokyo Metropolitan Cycle", wie er in Bild IV.5-8 abgebildet ist. Die Arbeiten wurden mit 48 Fahrzeugen (Pkw, Busse, Nfz) durchgeführt, der ermittelte Zyklus wurde bisher jedoch nur vom TMRIEP selbst bei der Untersuchung von Emissionskontrollmaßnahmen angewendet {971}. Weitere interessante Resultate obengenannter Studie, die das Verkehrsgeschehen in Tokyo charakterisieren, sind in Bild IV.5-9 bis Bild IV.5-12 zusammengestellt.



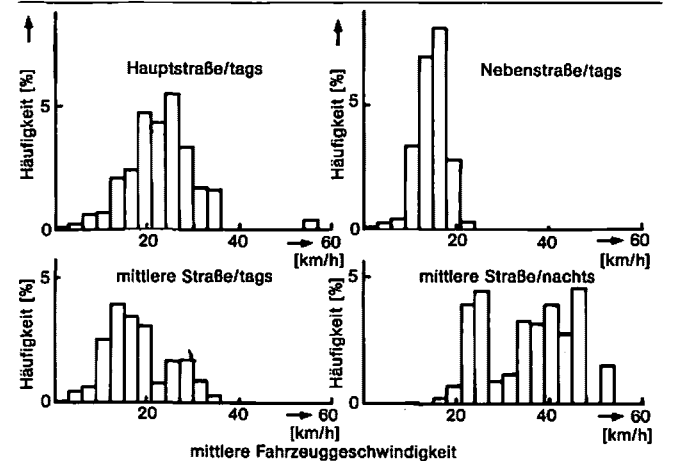
**Bild IV.5-9:** Häufigkeit des Auftretens der vier Grund-Fahrzustände pro Fahr-km in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit, [970].



**Bild IV.5-10:** Summenhäufigkeit der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit im Stadtgebiet von Tokyo, [972].



**Bild IV.5-11:** Häufigkeitsverteilung der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit im Stadtgebiet von Tokyo, [973].



**Bild IV.5-12:** Häufigkeitsverteilung der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit im Stadtgebiet von Tokyo in Abhängigkeit von Ort und Tageszeit, [973].

---

## TEIL V

### Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifikation, Produktion und Betrieb von PKW mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Japanischen Emissionskontrollgesetzgebung

#### 1. Einleitung

Obwohl Japan bezüglich der Durchführung von Abgastests an Pkw mit Otto-Motoren die US-CVS Meßtechnik anwendet und obwohl der Zertifizierungsgrundgedanke (Nachweis der Grenzwertbefreiung an einem gerade eingelaufenen Fahrzeug, Nachweis der Funktionsfähigkeit und der Veränderung des Emissionskontrollsystems über der Fahrzeuglebenszeit anhand eines Dauerlaufs mit hoher Laufstrecke) mit dem in den USA angewendeten Verfahren identisch ist, erfordern die japanischen Emissionskontrollvorschriften seitens der in dieses Land exportierenden Fahrzeug-Hersteller dennoch eine sehr individuelle und aufwendige Zulassungsprozedur.

Der Verbund von eigenen Grenzwerten, abweichenden Fahrzyklen und den nachfolgend näher beschriebenen Sonderforderungen machen die japanische Emissionskontrollgesetzgebung nach Meinung des Autors zu den derzeit zweitschärfsten Regelungen auf der Welt nach den USA. Aufwand und Bemühungen der Automobilindustrie zur Erfüllung der existierenden Emissionskontrollgesetzgebungen wären daher unvollständig beschrieben, wenn nicht die teilweise erheblich von den entsprechenden US-Regelungen abweichenden japanischen Zertifizierungsanforderungen in die Diskussion eingeschlossen würden.

#### 2. Einordnung der "Abgas-Zertifikation" in das japanische Zulassungs-Verfahren von Pkw

Die "Abgas-Zertifikation", d. h. die Zulassungsarbeiten für den Verbund aus Fahrzeug und Emissionskontrollsystem, sind in das Gesamt-Zulassungsverfahren eingebettet. Zunächst seien daher in Bild V.2-1 die Zusammenhänge zwischen Gesetz, Behörde und ausführenden Organen im Rahmen dieses Zulassungsverfahrens veranschaulicht.

Wie dann Bild V.2-2 zeigt, teilt sich dieses Zulassungs-Verfahren in zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren: a) für "non-designated" Fahrzeuge und b) für

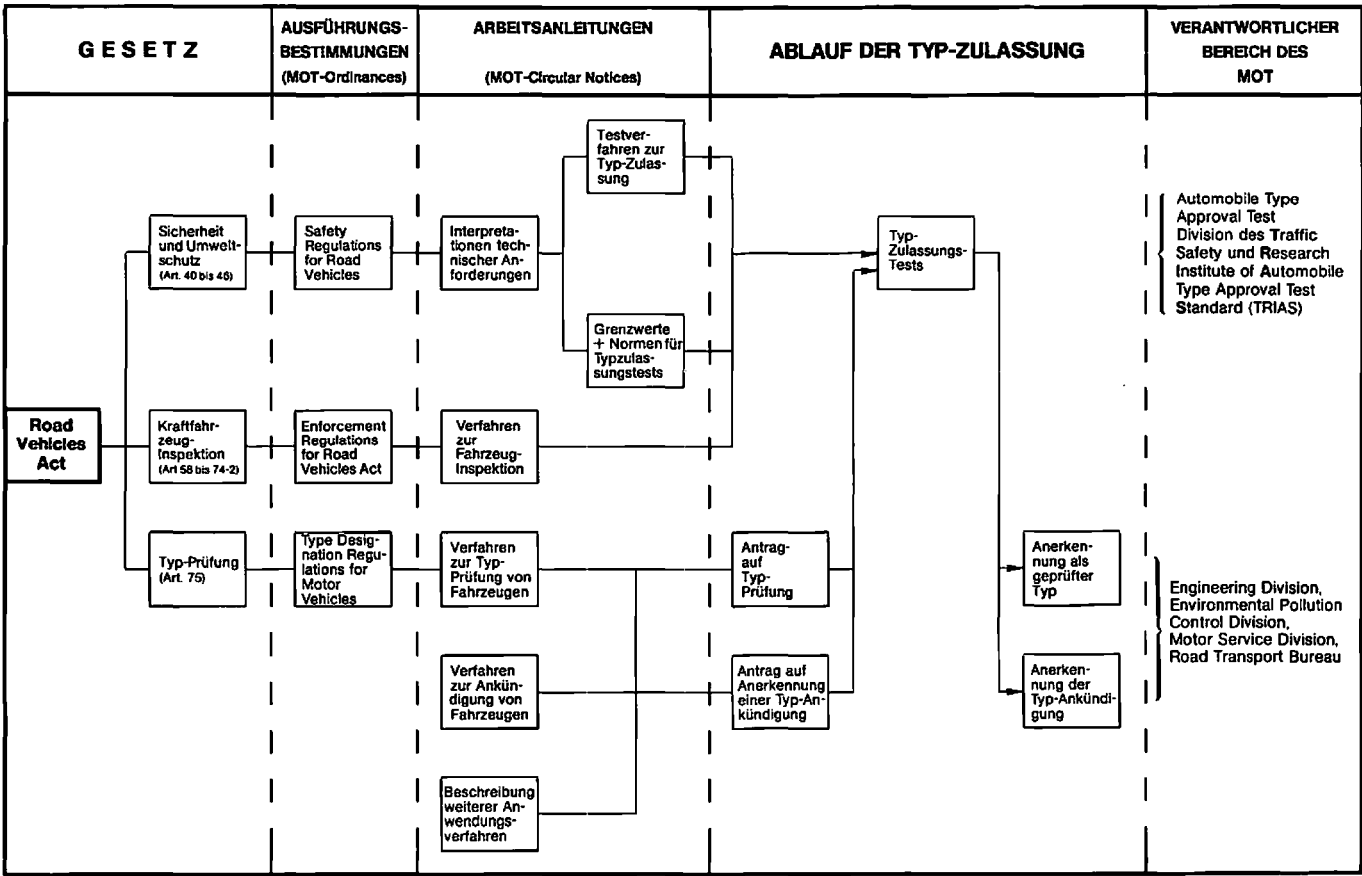
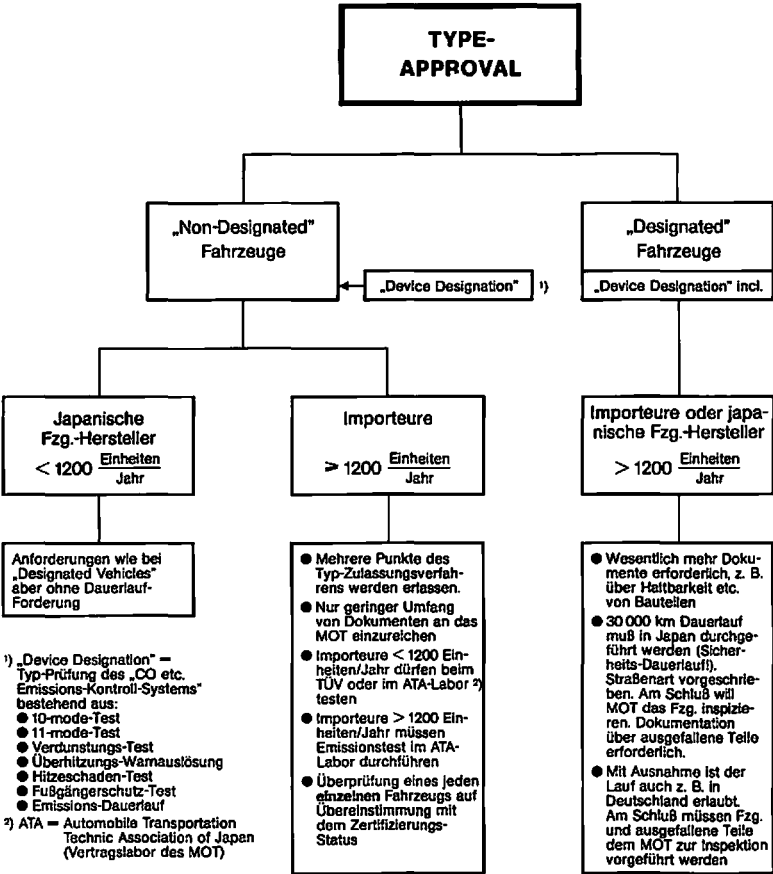


Bild V.2-1: Die Typ-Zulassung in Japan im Zusammenhang mit den Vorschriften des „Road Vehicles Act“ und den verantwortlichen Bereichen des MOT („Ministry of Transport“), nach [975].



"designated" Fahrzeuge auf. Der Unterschied beider Arten ist bezüglich der Verfahrensdurchführung der einzureichenden Unterlagen und der anfallenden Kosten erheblich, so daß die Importeure bis zum heutigen Tag mit der einzigen Ausnahme von VW (im Typ 1200 zur Zeit der Gültigkeit des 4-mode-Tests und im Golf des Zulassungsjahres 1981) ausschließlich das Verfahren a) gewählt haben.

Bild V.2-2: Aufteilung und Aufwand des japanischen Typ-Zulassungs-Verfahrens („Type Approval System“), nach [940, 941].



## 2.1 Das "Type Designation System" (TDS)

Das TDS wurde eingeführt, um in Großserie hergestellte Fahrzeuge nach einheitlichen Spezifikationen zu beurteilen {976}. Japanische Automobilhersteller oder Importeure können für ein Kraftfahrzeug einen Antrag auf "type designation" (Typ-Prüfung) stellen, indem sie beim Verkehrsminister die notwendigen Dokumente einreichen sowie das entsprechende Fahrzeug vorstellen. Das Fahrzeug muß hierbei in einer Ausführung, die den Dauerlauf absolviert hat, und in einer Version, die keinen Dauerlauf durchgeführt hat, präsentiert werden {941}.

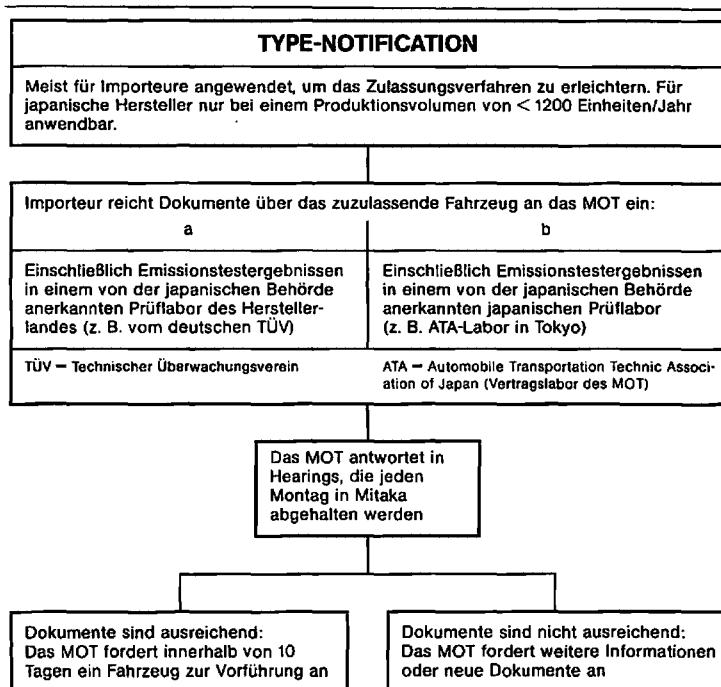
Der Dauerlauf ist gleichzeitig auch als "Sicherheits-Dauerlauf" anzusehen, der normalerweise in Japan zu erfolgen hat und für den die Straßenart (Oberfläche) gemäß {977} genau vorgeschrieben ist. Am Ende des Laufes will die Behörde (MOT) das Fahrzeug besichtigen, über ausgefallene Teile ist Protokoll zu führen. Wird der Lauf im Falle eines Importeurs mit Ausnahmegenehmigung im Herstellerland durchgeführt, müssen das Fahrzeug sowie die während des Laufs ausgefallenen Teile dem MOT nach Laufende vorgeführt werden {941}.

Die "type designation" wird gewährt, wenn nachgewiesen wird, daß das Fahrzeug alle in den "Safety Regulations for Road Vehicles" enthaltenen Vorschriften erfüllt und eine Serienproduktion einsetzen kann, die dem vorgestellten Fahrzeug entspricht. Wenn ein Hersteller nach Erhalt der "type designation" diese Fahrzeuge produzieren und verkaufen will, muß er (Stichproben-) Prüfungen (sogenannte "completion inspections") durchführen, um sicherzustellen, daß die Serienproduktion nach gleichen Spezifikationen gebaut wird, die auch für das Typprüfungsfahrzeug galten, und daß alle Serienfahrzeuge ebenfalls den Vorschriften der "Safety Regulations for Road Vehicles" entsprechen. Daraufhin kann er ein "termination certificate of completion inspection" ausstellen und dieses Dokument der Behörde anlässlich der Erstinspektion aushändigen. Die Behörde wird dann ein Inspektions-Zertifikat ohne Überprüfung eines jeden einzelnen produzierten Fahrzeugs des zugelassenen Typs ausstellen {978}.

## 2.2 Das "Type Notification System" (TNS)

Das TNS wurde vom "Director General" des "Road Transport Bureau" im MOT eingeführt, um das Verfahren der Erst-Inspektion effektiv durchführen zu können {978}. Das Verfahren findet wegen des geringeren Aufwandes bei allen Importeuren, d. h. für alle "non-designated" Fahrzeuge (Ausnahme: VW Golf 1981) Anwendung. Sein organisatorischer Ablauf ist in Bild V.2-3 dargestellt.

Die Ausführungsrichtlinien zum TNS {978} besagen, daß jeder Automobilhersteller oder Importeur bevor er mit der Produktion oder dem Verkauf eines neuen Kraftfahrzeugs für den japanischen Markt beginnt, eine Ankündigung über dieses neue Fahrzeug an den Verkehrsminister einreichen soll. Diese Ankündigung ("Notification") besteht aus der Abgabe bestimmter Dokumente sowie der Bereitstellung eines Fahrzeugs im Neuzustand. Ausgenommen vom TNS sind "designated motor vehicles", bei einer Produktion von > 1200 Einheiten/Jahr, Prototypen und abgeänderte Fahrzeuge. Eine

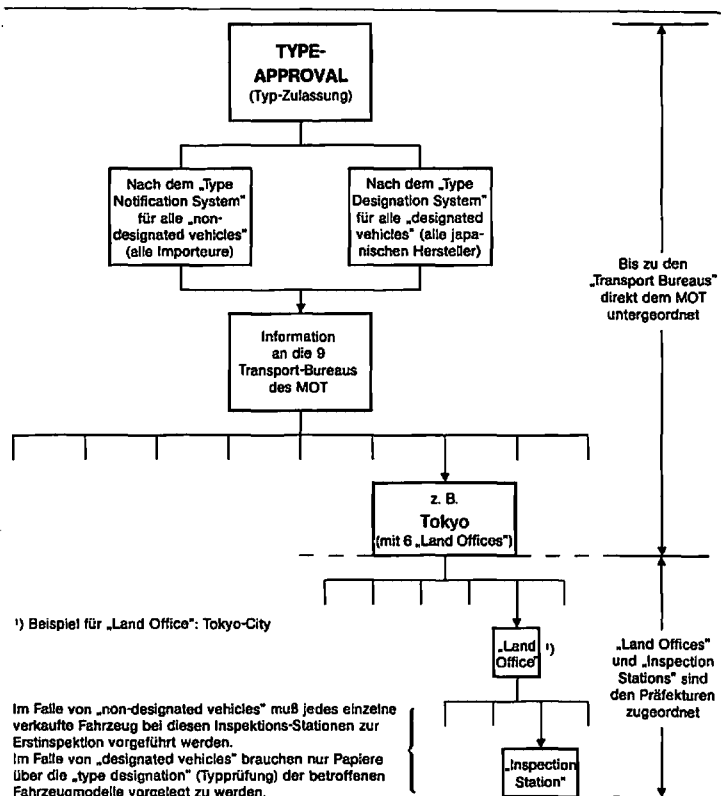


**Bild V.2-3:** Organisatorischer Ablauf einer Typ-Ankündigung („Type Notification“) bei Import und „Emissions-Zulassung“ eines PKW aus der Bundesrepublik Deutschland für Japan, wie sie für alle „non-designated“ Fahrzeuge angewendet wird, nach [941, 977].

Anerkennung der Ankündigung wird ausgesprochen, wenn das Fahrzeug alle Forderungen der "Safety Regulations for Road Vehicles" erfüllt. An dieser Stelle ist zu betonen, daß das TNS für das Gesamtfahrzeug mit Ausnahme des Emissionskontrollsystems gilt. Die Zulassung des Emissionskontrollsystems erfolgt nach dem in Kap. 2.4 erläuterten "Device Designation System".

Das Hauptbüro des MOT unterrichtet dann alle Verkehrsbehörden von dieser Entscheidung, wobei diesen Stellen gleichzeitig die Kenndaten des neuen Fahrzeugs als Referenzwerte für die in Kap. 2.3 genannten Erst-Inspektionen zur Verfügung gestellt werden.

## 2.3 Das "Motor Vehicle Inspection System" (MVIS)



**Bild V.2-4:** Zusammenhang zwischen Typ-Zulassungs- („Type Approval“-Verfahren („Type Notification“ und „Type Designation“) und der Fahrzeug-Lizensierung („Motor Vehicle Inspection System“) bei den japanischen Prüfstationen („Inspection Stations“) vor Fahrzeug-Inbetriebnahme, nach [941, 976].

Das MVIS wurde in Japan vorgeschrieben, um sowohl die Sicherheit von Automobilen wie auch eine Vermeidung von Umweltverschmutzung durch diese Fahrzeuge sicherzustellen. Unter diesen Prämissen müssen alle auf Straßen betriebenen Kraftfahrzeuge Inspektionen unterzogen werden und haben nur dann eine Betriebserlaubnis, wenn sie ein gültiges Inspektions-Zertifikat vorweisen können [976].

Wenn jemand ein neues Kraftfahrzeug, für das

kein Inspektionszertifikat vorliegt, in Betrieb nehmen will, muß er um eine behördlicherseits durchzuführende Erst-Inspektion nachsuchen. Er erhält nach Prüfung ein Inspektionszertifikat, das bei Pkw eine Gültigkeit von zwei Jahren aufweist. Nach Ablauf dieser Frist wird von der Behörde oder einer autorisierten Werkstatt eine Nachfolge-Inspektion durchgeführt und damit die Betriebserlaubnis verlängert {976}.

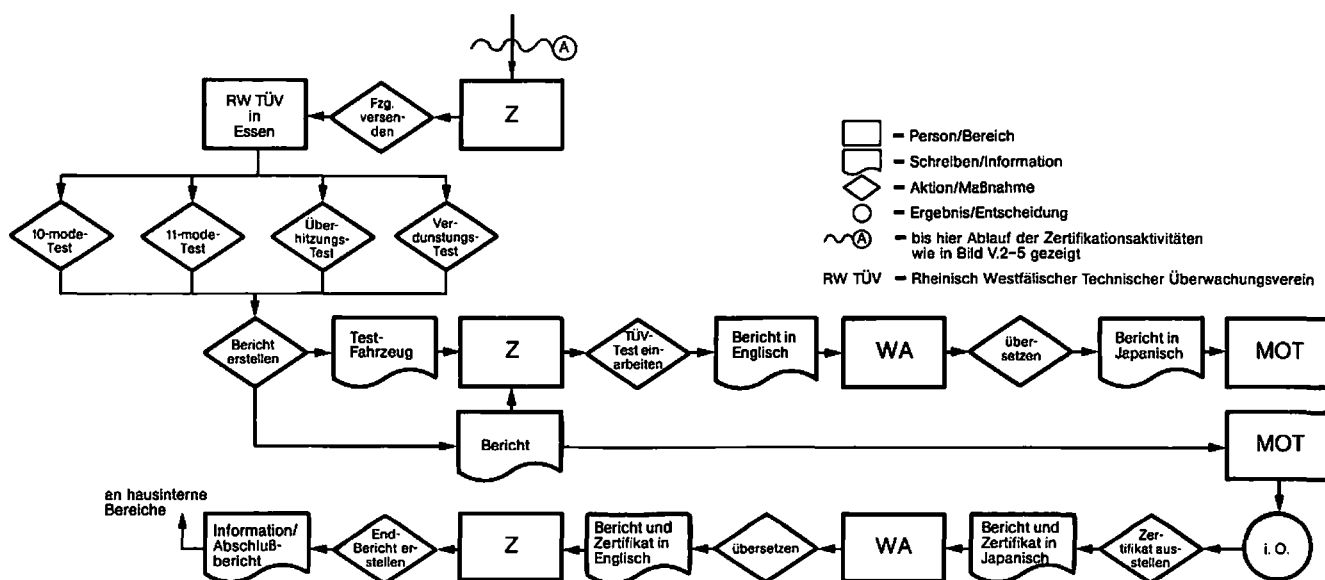
In Bild V.2-4 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Als Vorteil des am Anfang der Zulassungsarbeiten aufwendigeren TDS zeigt sich hier die Möglichkeit, diese Erst-Inspektionen (die bei "non-designated" Fahrzeugen das Vorführen jedes einzelnen verkauften Fahrzeugs bei den "Inspection Stations" des MOT erfordern) durch Vorlage des im Rahmen des TDS erwirkten Erst-Inspektionszertifikates des betroffenen Fahrzeug-Modells ohne Fahrzeugvorstellung abzudecken {978}.

## 2.4 Das "Device Designation System" (DDS)

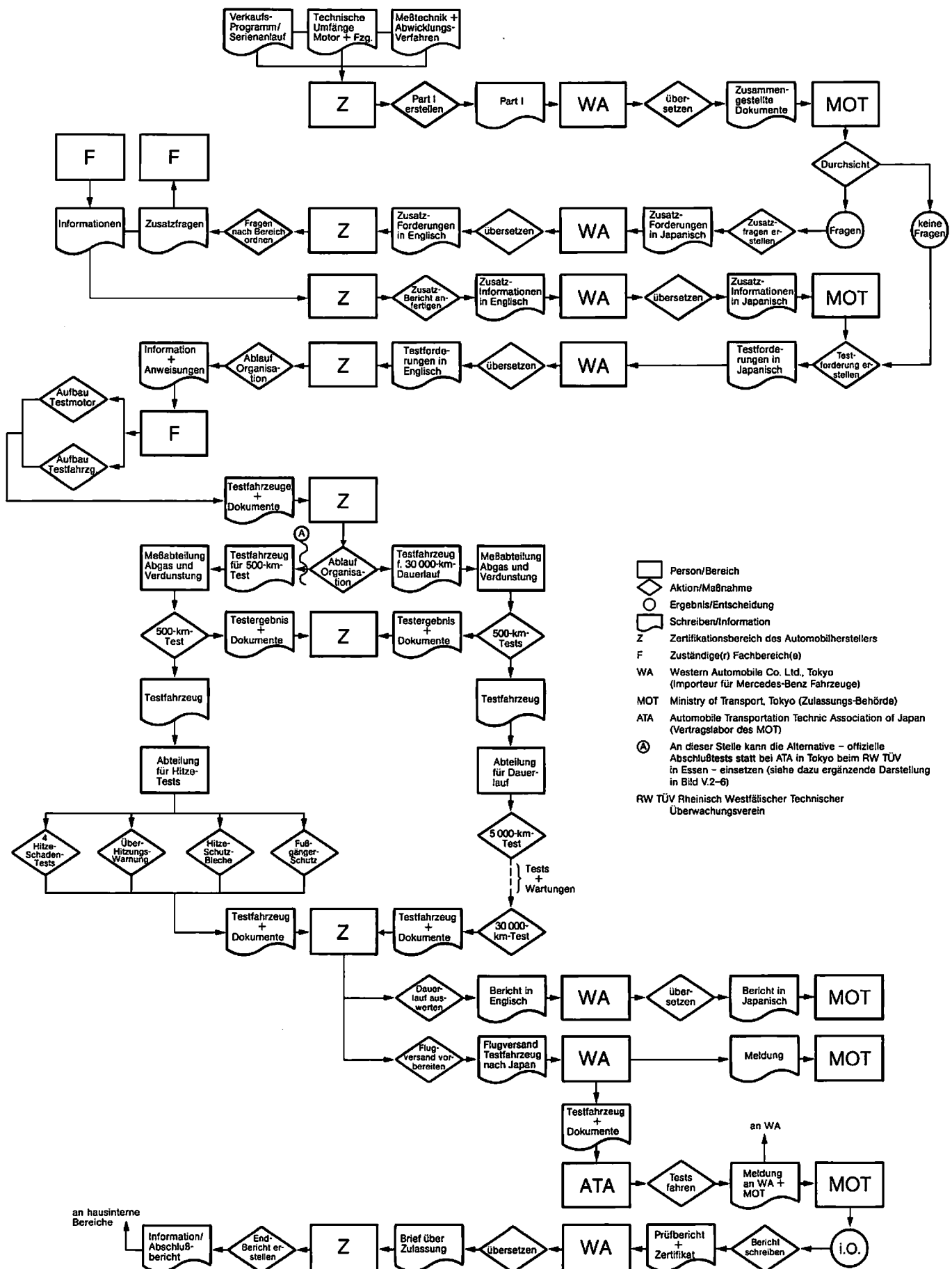
Neben der umfangreichen Typzulassung für das Gesamtfahrzeug (entweder per Typ-Prüfung oder Typ-Ankündigung) können auch bestimmte Systeme oder Einzelkomponenten einer Typ-Prüfung unterzogen werden. Als charakteristisches Beispiel seien hier alle Systeme zur Kontrolle von CO- oder anderen Emissionen genannt. Der Aufwand zur Zulassung der für die Emissionskontrolle notwendigen Systeme wird in Kap. 3 detailliert behandelt.

## 2.5 Ablauf einer 'Abgas-Zertifizierung' für den japanischen Markt am Beispiel der Daimler-Benz AG

Nachdem im Vorangegangenen die generellen Zusammenhänge der Pkw-Zulassung inclusive 'Abgas-Zertifizierung' erläutert wurden, sei nachfolgend speziell der Ablauf eines 'Abgas-Zertifizierungsverfahrens' in Japan am Beispiel von Mercedes-Benz-Fahrzeugen betrachtet. Der Aufwand für eine "Abgas-Zertifizierung" in Japan ist besonders für einen Importeur erheblich. Die erforderlichen Arbeiten gehen weit über die Durchfüh-



**Bild V.2-6:** Prinzipieller Ablauf einer japanischen „Abgas-Zertifizierung“ für PKW mit Otto-Motoren am Beispiel Daimler-Benz (mit Durchführung der offiziellen Zulassungstests in der Bundesrepublik Deutschland).



**Bild V.2-5:** Prinzipieller Ablauf einer japanischen „Abgas-Zertifizierung“ für PKW mit Otto-Motoren (mit Durchführung der offiziellen Zulassungstests in Japan) am Beispiel Daimler-Benz.

rung von Emissionstests und die Erstellung eines entsprechenden Gutachtens hinaus, da japanspezifische Forderungen wie die in Kap. 3.3 behandelten Auflagen zum Nachweis der sicherheitsbezogenen Unbedenklichkeit des Einsatzes von Emissionskontrollsystemen einen zusätzlichen Schwerpunkt darstellen.

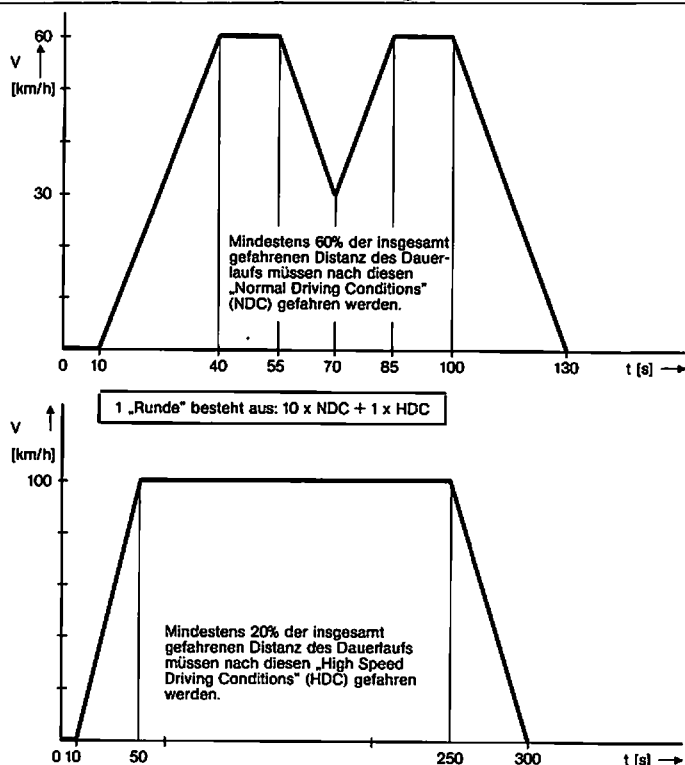
In Bild V.2-5 ist der Gesamtablauf einer solchen 'Abgas-Zertifikation' unter der Voraussetzung, daß die amtlichen Nachprüftests im Behörden-Labor in Tokyo stattfinden, veranschaulicht. Wie in Kap. 5 erläutert, haben gewisse Verfahrenserleichterungen seit Anfang 1981 die in Bild V.2-6 dargestellte Alternative ermöglicht. Beide Bilder erklären sich selbst, so daß auf zusätzliche Ausführungen verzichtet werden kann.

### 3. Besonderheiten der japanischen 'Abgas-Zertifikation'

Da sich die japanische Abgas-Zulassung wesentlich von dem aus Teil III dieser Arbeit bekannten US-Verfahren unterscheidet, bedeutet eine Japan-Abgas-Zertifikation für einen Importeur sogar im Falle des Verkaufs eines mit der US-Version gleichen Fahrzeugtyps und gleichen Emissionskontrollsystems erheblichen Zusatzaufwand (Technik, Kosten, Organisation). Nachfolgend sei auf diese von den US-Verfahren abweichenden japanischen Vorschriften näher eingegangen.

#### 3.1 Dauerlauf zum Nachweis der Standfestigkeit und Funktionstüchtigkeit des Emissionskontrollsystems

Die japanische Gesetzgebung schreibt für Pkw-Abgaszulassungen einen Dauerlauf über 30.000 km vor, der sich aus den in Bild V.3-1 dargestellten Fahrverläufen zusammensetzt. Über die Verteilung dieser Fahrzustände im Gesamt-Fahrprogramm geben eine



"MOT-Ordinance" und eine auf dieser Vorschrift basierende "Circular Notice" wie folgt Auskunft: Der NDC ("Normal Driving Cycle") muß mindestens 60 %, der HDC ("High Speed Driving Cycle") mindestens 20 % der gesamten Dauerlaufdistanz ausmachen. Eine "Runde" besteht aus 10 nacheinander gefahrenen NDC plus einem nachfolgenden HDC [979].

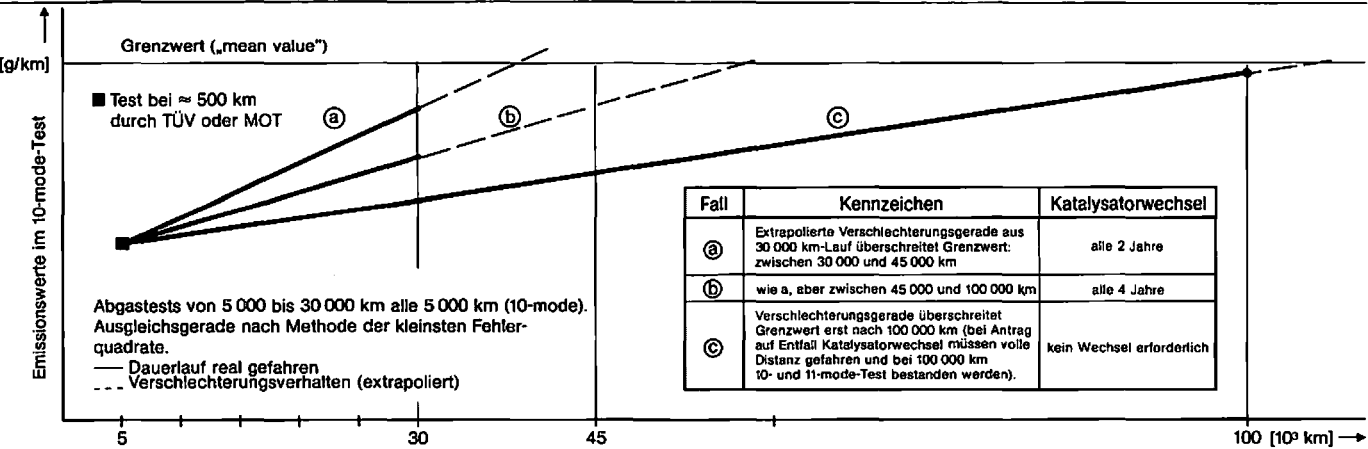
Die angegebenen Grenzen lassen gewisse Variationen zu, die sich in einer Änderung der mittleren Geschwindigkeit über die 30.000 km Distanz und damit über den Gesamt-Zeitbedarf für den Dauerlauf niederschlagen. Alternativ zu dem oben genannten Dauerlaufprogramm akzeptieren

**Bild V.3-1:** Zusammensetzung des Dauerlauf-Fahrprogramms (z. B. 30 000-km-Lauf) der japanischen „Abgas-Zertifikation“ die japanischen Behörden jedoch auch (Abwandlungen je nach der beim Automobilhersteller verfügbaren Teststrecke sind unter Einhaltung der prozentualen Geschwindigkeitsverteilung zulässig), nach [977].

einen Dauerlauf, der nach dem US-AMA-Zyklus durchgeführt wurde {980} (siehe dazu auch Teil III, Kap. 5.2.3.1, Bild III.5-23).

3.2 Ermittlung der Verschlechterung des Emissionsniveaus eines Fahrzeugs über der Laufzeit und die zugehörigen Katalysator-Wechselintervalle

Ähnlich der beim US-Zertifizierungsverfahren üblichen Bestimmung des "deterioration factor" wird auch in Japan eine Berechnung der Verschlechterung des Emissionskontrollsystems während der Laufzeit des Fahrzeugs durchgeführt. Eine Besonderheit der



**Bild V.3-2:** Bestimmung der notwendigen Katalysator-Wechselintervalle aus dem 30 000- oder 100 000-km-Dauerlauf der japanischen „Abgas-Zertifizierung“, nach [981].

japanischen Emissionskontrollgesetzgebung ist hierbei die Ableitung gesetzlich vorgeschriebener Katalysator-Wechselintervalle aus der aufgrund eines 30.000 km Dauerlaufs ermittelten Verschlechterung der Emissionswerte. In Bild V.3-2 sind die entsprechenden Entscheidungskriterien veranschaulicht.

Nach einem ersten "Null-Test" bei  $\approx 500$  km, der nicht in die Verschlechterungsrechnung einbezogen wird, werden bis 30.000 km alle 5.000 km 10-mode-Emissionstests durchgeführt und die Ausgleichsgerade wie in dem in Teil III, Kap. 5.3.5.6 diskutierten US-Dauerlauf berechnet. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß im 500-, 30.000- und eventuell 100.000 km-Punkt auch je ein 11-mode-Kaltstarttest gefahren werden müssen. Diese Testergebnisse werden jedoch nicht zur Berechnung der Emissionsverschlechterung (Ausgleichsgerade) verwendet.

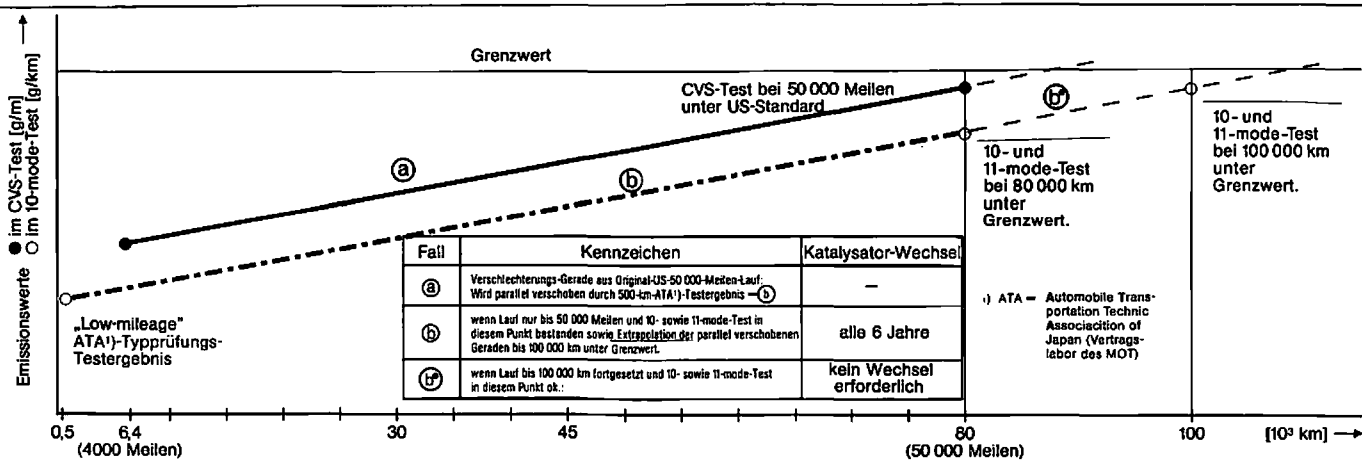
Der Ansatz der Ausgleichsgeraden an das bei der japanischen Behörde (oder beim Rheinisch Westfälischen Technischen Überwachungsverein - RWTÜV - in Deutschland, wenn dieser im Auftrag der japanischen Behörde testet) an einem Neufahrzeug ermittelte Zertifikations-Emissionstestergebnis und Extrapolation dieser Geraden auf 45.000 km ergibt ein Bild des "Erfüllungspotentials" des bei  $\approx 500$  km getesteten Fahrzeugs: Die Ausgleichsgerade darf den 10-mode Test Grenzwert (für "non designated"-Fahrzeuge: den "max. value", für "designated" Fahrzeuge: den "mean value") nicht vor 45.000 km überschreiten, sonst wird die Zulassung des Fahrzeugs verweigert. Überschreitet die Ausgleichsgerade den Grenzwert zwischen 45.000 und 100.000 km,

erhält das Fahrzeug eine Zulassung, der (die) Katalysator(en) des Emissionskontrollsystems muß (müssen) jedoch alle 4 Jahre erneuert werden. Alternativ besteht für den Automobilhersteller die Möglichkeit, den 30.000 km Dauerlauf effektiv bis auf 100.000 km zu fahren. Wird dann noch der Grenzwert eingehalten, kann der Katalysatorwechsel entfallen.

Das obengenannte japanische System der Festlegung von Katalysator-Wechselintervallen (z. B. aufgrund von Extrapolationsverfahren) unterscheidet sich grundlegend von dem der US-Zertifizierung, wo Automobilhersteller keinen oder höchstens einen einmaligen Katalysatorwechsel während der gesamten Fahrzeuglebenszeit vorsehen dürfen, wenn die Ausgleichsgerade der Emissionswerte eines effektiv gefahrenen 50.000 Meilen-Laufs die in Teil III, Kap. 5.3.5.1 genannten Bedingungen nicht erfüllt. Im japanischen Abgas-Zertifizierungsverfahren entscheidet nach Festliegen des Emissionsverschlechterungsverhaltens (Ausgleichsgerade) bei Dauerlaufabschluß praktisch erst der behördliche Nachprüfungstest am Neufahrzeug ( $\approx 500$  km-Test) über die Häufigkeit der im Feldeinsatz des Fahrzeugtyps durchzuführenden Wechselintervalle. Soll also die seitens des Automobilherstellers angestrebte Befreiung von der Auflage zu 4jährigen Katalysatorwechsel-Intervallen nicht durch diesen Zulassungstest am Neufahrzeug (beim japanischen MOT oder beim deutschen TÜV) in einen Zwang zum Katalysatorwechsel umschlagen, muß sichergestellt sein, daß das Neufahrzeug-Testergebnis nicht über demjenigen Wert liegt, der sich im  $\approx 500$  km-Punkt auf der Verschlechterungsgeraden ergibt, wenn diese bei 100.000 km den Grenzwert schneidet.

Die japanischen Behörden erlauben den Importeuren eine Alternative zu obengenanntem Verfahren: Importeure dürfen die Original-US-Dauerläufe auch für die Japan-Zertifizierung zugrunde legen. In Bild V.3-3 ist die dann anzuwendende Prozedur zur Bestimmung des Katalysator-Wechselintervalls veranschaulicht:

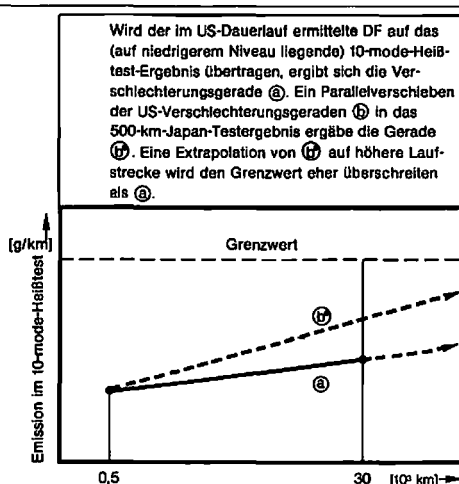
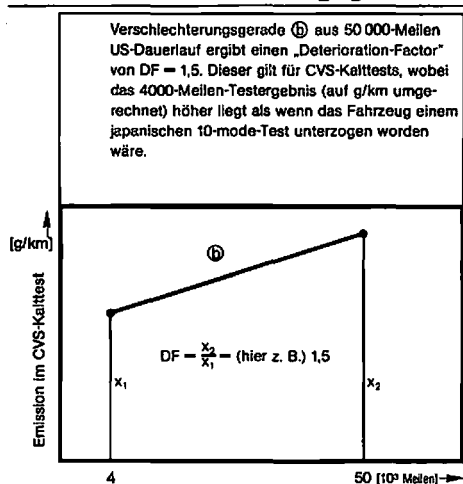
Die Verschlechterungsgerade aus dem für die US-EPA durchgeführten 50.000 Meilen-Lauf (80.000 km) wird an das bei  $\approx 500$  km ermittelte "10-mode-Testergebnis des Japan-Zulassungsfahrzeugs angesetzt. Sie wird dann bis auf 100.000 km extrapoliert



**Bild V.3-3:** Ausnahmeregelung für Importeure zur Bestimmung der notwendigen Katalysator-Wechselintervalle unter Verwendung oder Erweiterung des Original-US-50.000-Meilen-Dauerlaufs, nach [982].  
(Verfahren nur möglich bei Identität des in Japan eingesetzten Fahrzeug/Emissionskontrollkonzeptes mit der in den USA verkauften Version)

und muß in diesem Punkt noch unter dem Grenzwert liegen. Gleichzeitig müssen das US-Fahrzeug bis auf 100.000 km weitergefahren und in diesem Punkt je ein 10- und ein 11-mode-Test bestanden werden. Sind diese Kriterien erfüllt, entfällt ein Katalysatorwechsel während der gesamten Lebenszeit des Fahrzeugs.

An dieser Stelle muß an dem letztgenannten Verfahren Kritik angebracht werden: Während bei der US-Zulassung das Testergebnis am Neufahrzeug nur mit dem Verschlechterungsfaktor aus dem Dauerlauf (= Emissionswert bei 50.000 Meilen dividiert durch Emissionswert bei 4.000 Meilen) multipliziert und das Produkt am Grenzwert gemessen werden, bedeutet die im japanischen Verfahren durchgeführte Parallelverschiebung der Verschlechterungsgeraden aus dem US-Dauerlauf durch das beim MOT oder beim TÜV



ermittelte Testergebnis des Neufahrzeugs eine ungerechtfertigte Erschwernis. Bild

V.3-4 veranschaulicht,

daß die für eine Entscheidung über die später durchzuführenden Katalysator-Wechselintervalle so wichtige Ausgleichsgerade – wenn sie parallel

**Bild V.3-4:** Kritik am japanischen Verfahren bei der Anerkennung von US-50 000-Meilen-Dauerläufen anstelle von Japan-30 000-km-Dauerläufen durch Parallelverschiebung der US-Verschlechterungsgeraden in das 500-km-Japan-Testergebnis.

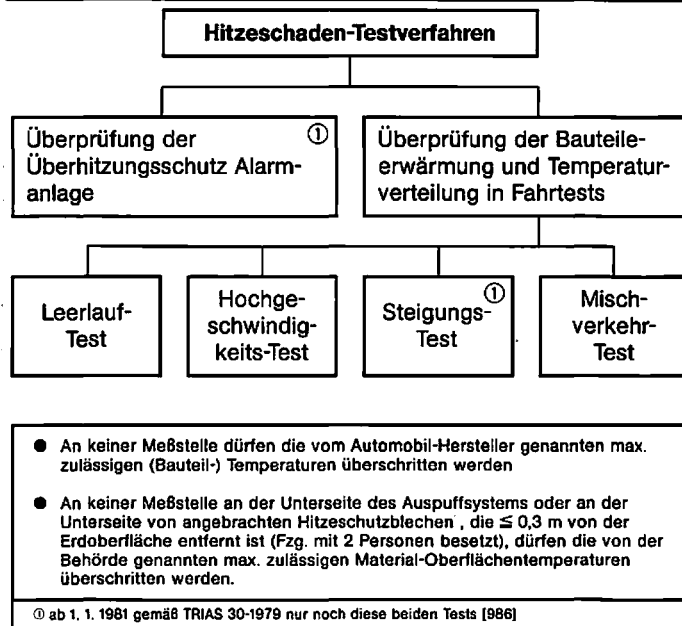
verschoben wird – eine für das als niedriger liegend angenommene Emissionsniveau des Neufahrzeugs größere Steigung besitzt, als wenn für das Neufahrzeug ein gleicher Verschlechterungsfaktor (DF) wie für das Dauerlauf-Fahrzeug zugrunde gelegt würde. Ein konstant gehaltener DF (wie in der US-Zertifizierung ermittelt) führt mit sinkendem Emissionsniveau zu flacheren Ausgleichsgeraden und damit zu höherer Wahrscheinlichkeit, längere oder gar keine Katalysator-Wechselintervalle zu erzielen.

In langwierigen Verhandlungen mit dem japanischen MOT gelang es Daimler-Benz im Jahre 1979, die hier dargelegte Argumentation für alle 4-, 6- und 8-Zyl.-Fahrzeuge behördlich anerkannt zu bekommen [983]. Damit konnten die Katalysatorwechsel eingespart werden, die eigentlich aufgrund der im Zertifizierungsverfahren festgestellten Emissionsverschlechterung über der Fahrzeuglaufzeit in 4-Jahres-Intervallen erforderlich gewesen wären. Außer einem finanziellen Vorteil für den Kunden (bei 1.300,-- bis 2.460,-- DM pro Katalysatorwechsel und  $\approx 12.700$  von 1976 bis 1980 betroffenen Fahrzeugen ergaben sich Material- und Umbaukosten-Einsparungen in Höhe von  $\approx 28,5$  Millionen DM) – sowie Lagerhaltungskosten-Einsparungen für den Generalvertreter in Höhe von  $\approx 2,5$  Millionen DM – wurde mit dieser Genehmigung auch ein bedeutender immaterieller Gewinn für die Verkaufsorganisation (kein Wettbewerbsnachteil mehr gegenüber anderen Fabrikaten) erzielt.



### 3.3 Der Hitzeschaden-Test

Mit Einführung der Katalysatortechnologie zur Erfüllung der "1975er Standards" kam eine weitere Besonderheit bei der japanischen Abgaszertifikation hinzu: der sogenannte "Hitzeschaden-Test" ("Heat Damage Test"). Da er für alle Automobilhersteller ein Novum darstellte und durch verschiedene Randbedingungen recht aufwendig war, arrangierte die JAIA ("Japanese Automobile Importers Association") im Mai 1975 ein Treffen für alle Importeure beim MOT, bei dem die verschiedenen Testbedingungen durch höchste Beamte der Behörde am Objekt erläutert und vorgeführt wurden. Grund für die Einführung des Hitzeschadentests mit



**Bild V.3-5:** Das ab Einführung der Katalysator-Emissionskontrolltechnologie im Rahmen der japanischen „Abgas-Zertifikation“ mit zu erfüllende Hitzeschaden-Testverfahren, nach [1985, 1986].

seinen nachfolgend näher beschriebenen Varianten waren Brandfälle, die insbesondere in den USA durch Fahrzeuge mit heißen Unterbodenkatalysatoren beim Parken aufgetreten waren. In einer Demonstration (Film) führte das MOT den eingeladenen Importeuren die Entstehung eines solchen Brandfalles vor, bei dem ein Fahrzeug mit ungeschütztem Unterbodenkatalysator nach schneller Fahrt beim Einfahren auf einen mit trockenem Gras bewachsenen Parkplatz in Sekundenschnelle einen Brand auslöste [1984].

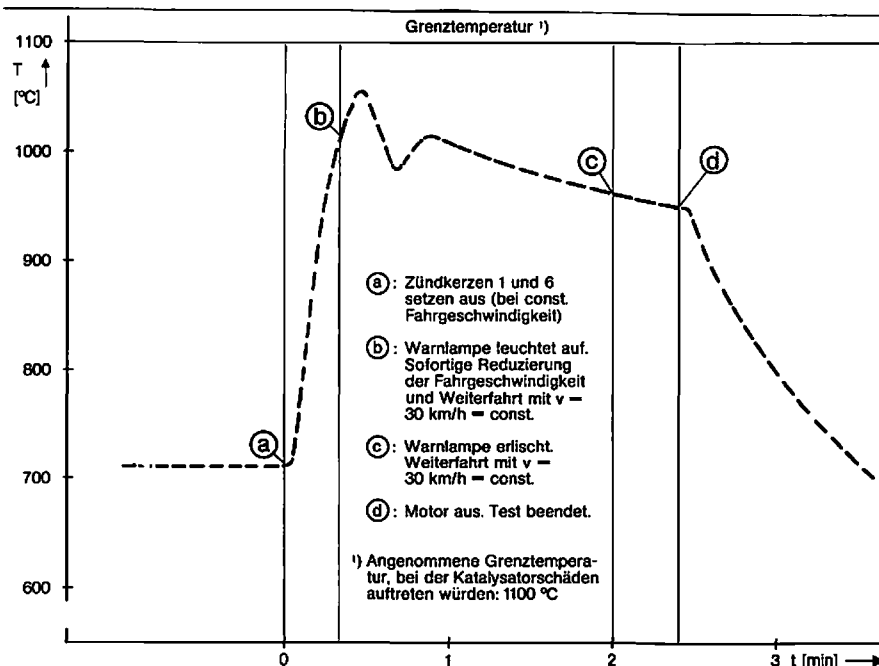
Bild V.3-5 zeigt die verschiedenen Untertests des Hitzeschadentests, die nachfolgend kurz diskutiert werden.

#### 3.3.1 Der Überhitzungs-Warnschutz-Test

Durch ein rotes Warnlicht oder ein akustisches Signal bestimmter Mindestlautstärke soll der Fahrer gewarnt werden, wenn irgendein Bauteil des Fahrzeugs abnormal heiß geworden ist oder zu heiß zu werden droht. Im Falle von Katalysatorbetrieb an langen Steigungen unter Vollast (geringe Kühlung, maximale Energieumsetzung) kann die Außenhaut des Katalysatorgehäuses leicht sehr heiß werden und dadurch umliegende Bauteile gefährden. Ein deutlich erkennbar angebrachtes Hinweisschild im Fahrzeug soll dem Fahrer Verhaltensregeln für den Fall einer Überhitzungswarnung geben.

Anlässlich einer Abgas-Zertifikation wird die Warmauslösung durch künstliches Überhitzen des Katalysators (z. B. durch Abziehen von Kerzensteckern) simuliert, wobei gleichzeitig an verschiedenen Stellen im Motorraum, im Fahrgast-Fußbodenraum, unter dem Fahrzeugboden etc. Temperaturen gemessen werden. Ein derart ermittelter typischer Temperaturverlauf ist in Bild V.3-6 dargestellt.

Nachdem der Alarm ausgelöst ist, werden die auf dem Hinweisschild genannten Gegen-



maßnahmen eingeleitet (z. B. Verringern der Geschwindigkeit, Anhalten etc.) und der Temperaturverlauf an den Meßstellen verfolgt. Anschließend werden Fahrzeug und Bauteile auf Schäden inspiziert.

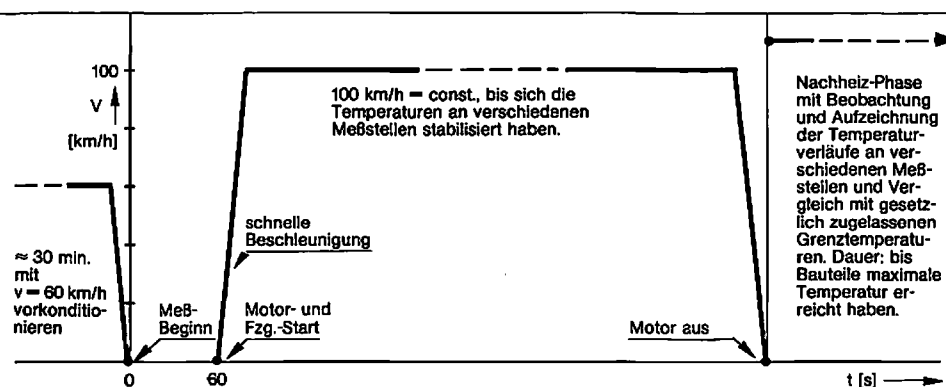
**Bild V.3-6:** Typischer Temperaturverlauf bei Auslösung der seit Einführung der Katalysator-Technologie im Rahmen der japanischen „Abgas-Zertifizierung“ zu prüfenden Überhitzungsschutz-Warneinrichtung (Beispiel: Meßstelle an der gefährdetsten Stelle eines Monolith-Katalysators an einem Mercedes-Benz 280 E aus dem Jahre 1978).

### 3.3.2 Der Leerlauf-Test ("Idle Test")

Der Motor wird mit der oberen vom Hersteller angegebenen Leerlaufdrehzahl (Getriebe in "N") solange betrieben, bis sich die Temperaturen an den in Kap. 3.3.1 genannten Meßpunkten stabilisiert haben oder bis 30 Minuten vergangen sind. Danach erfolgt Abstellen des Motors und Aufnahme des Temperaturverlaufs an diesen Meßstellen.

### 3.3.3 Der Hochgeschwindigkeits-Test ("High Speed Running Test")

Das Fahrzeug wird auf einem Rollenprüfstand (der gemäß dem Fahrwiderstand auf ebe-



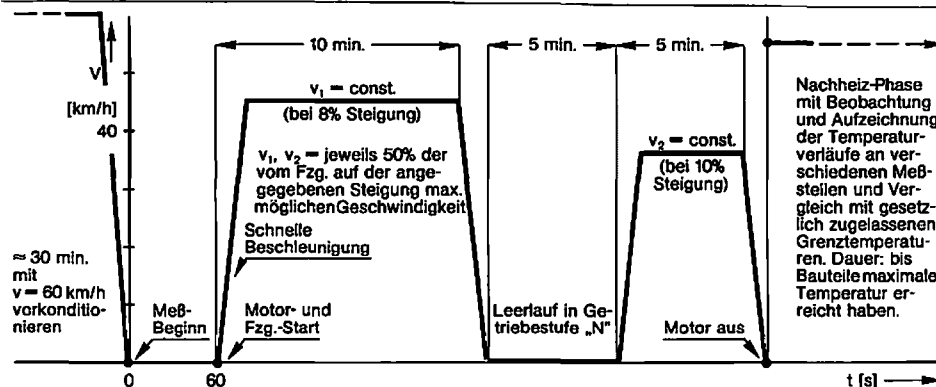
ner Straße eingestellt wurde) schnell auf 100 km/h beschleunigt. Die Geschwindigkeit wird beibehalten, bis sich die Temperaturen an den in Kap. 3.3.1 genannten Meßstellen stabilisiert haben, dann wird auf Stillstand verzögert. Nach

**Bild V.3-7:** Der Hochgeschwindigkeits-Test als Bestandteil des Hitzeschutz-Tests der japanischen „Abgas-Zertifizierung“ seit 1974 (ab Januar 1981 für Importeure nicht mehr in der Hitzeschutz-Testforderung enthalten), nach [985].

Abstellen des Motors wird der Temperaturverlauf registriert. Bild V.3-7 zeigt diesen Testverlauf.

### 3.3.4 Der Steigungs-Test ("Upgrade Running Test")

Auf einem Rollenprüfstand, der entsprechend einem Fahrwiderstand auf einer Straße mit Steigung eingestellt ist, wird das Fahrzeug auf die Geschwindigkeit  $v_1$  beschleunigt und 10 Minuten bei dieser Geschwindigkeit gehalten. Es schließt sich

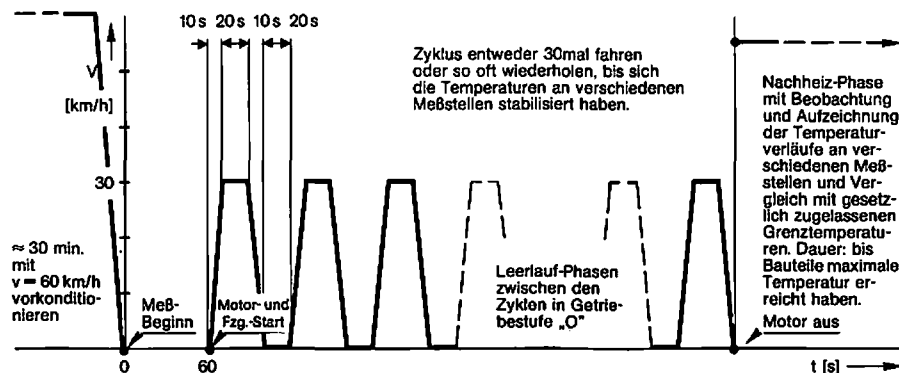


eine 5minütige Leerlauf-Phase an, der eine zweite Beschleunigung auf die Geschwindigkeit  $v_2$  folgt, die 5 Minuten lang zu halten ist. Der Rollenprüfstand simuliert bei diesem Testabschnitt den Fahrwiderstand einer Steigung von

**Bild V.3-8:** Der Steigungs-Test als Bestandteil des Hitzeschutz-Tests der japanischen „Abgas-Zertifizierung“ seit 1974, nach [985].

10 % ( $v_1$  und  $v_2$  betragen 50 % der bei der jeweiligen Steigung vom Fahrzeug maximal erreichbaren Geschwindigkeit). Nach einer letzten Verzögerung zum Stillstand erfolgt Abstellen des Motors und Temperatureaufnahme an den in Kap. 3.3.1 genannten Meßstellen. Bild V.3-8 zeigt den Ablauf dieses Tests.

### 3.3.5 Der Mischverkehr-Test ("Congested Traffic Running Test")



Der in Bild V.3-9 dargestellte Fahrverlauf wird 30mal wiederholt oder so oft gefahren, bis Temperaturstabilisierung an den in Kap. 3.3.1 genannten Meßstellen eingesetzt hat. Nach Motorabstellen erfolgt wieder Aufnahme der Temperatur-

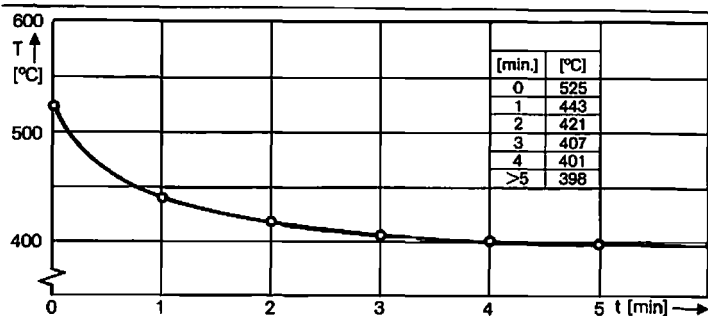
**Bild V.3-9:** Der Mischverkehr-Test als Bestandteil des Hitzeschutz-Tests der japanischen „Abgas-Zertifizierung“ seit 1974 (ab Januar 1981 für Importeure nicht mehr in der Hitzeschutz-Testforderung enthalten), nach [985].

verläufe an den entsprechenden Bauteilen.

### 3.3.6 Hitzeschutz-Maßnahmen ("Heat Shielding Measures")

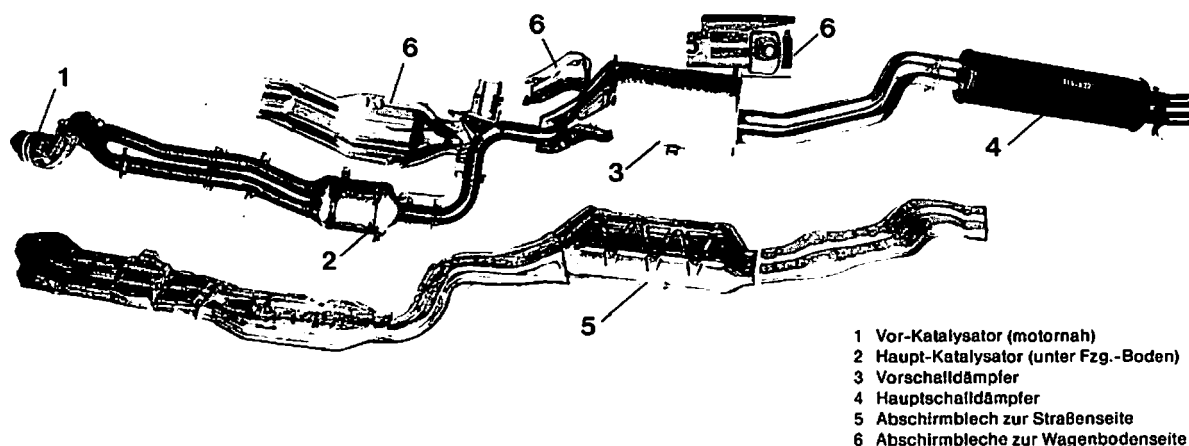
Bei den in Kap. 3.3.1 bis Kap. 3.3.5 genannten Tests darf die Temperatur von Bauteilen des Fahrzeugs oder Motors, die vom Automobilhersteller für diese Teile als zulässig erklärten Werte nicht überschreiten (außer im Moment der Überhitzungsschutzwarnauslösung). Darüber hinaus gilt die Forderung, daß kein Temperaturmeßpunkt an der Unterseite der Auspuffleitung (in der auch ein Katalysator enthalten sein kann) oder an der Unterseite von Hitzeschutzblechen unter der Auspuffleitung die in Bild V.3-10 dargestellte Grenztemperatur ( $T = f(t)$ ) überschreiten darf.

Der Ursprung dieser Grenztemperatur-Kurve liegt im US-"Forest Bureau". In den USA



**Bild V.3-10:** Grenztemperaturen für Meßstellen an der Auspuff- oder Hitzeschutzblech-Unterseite während der Nachheizphase des Hitzetests der japanischen „Abgas-Zertifikation“, nach [987].

sind Fälle aufgetreten, bei denen die erstmals im Modelljahr 1975 in den USA eingesetzten Katalysator-Fahrzeuge durch zu heiße Auspuffanlagen Grasbrände verursacht haben. Die Anbringung einer serienmäßigen Blechabschirmung zur Verhinderung derartiger Brandgefahren ist in Bild V.3-11 für ein Daimler-Benz-Fahrzeug mit motornahem und Unterbodenkatalysator gezeigt.

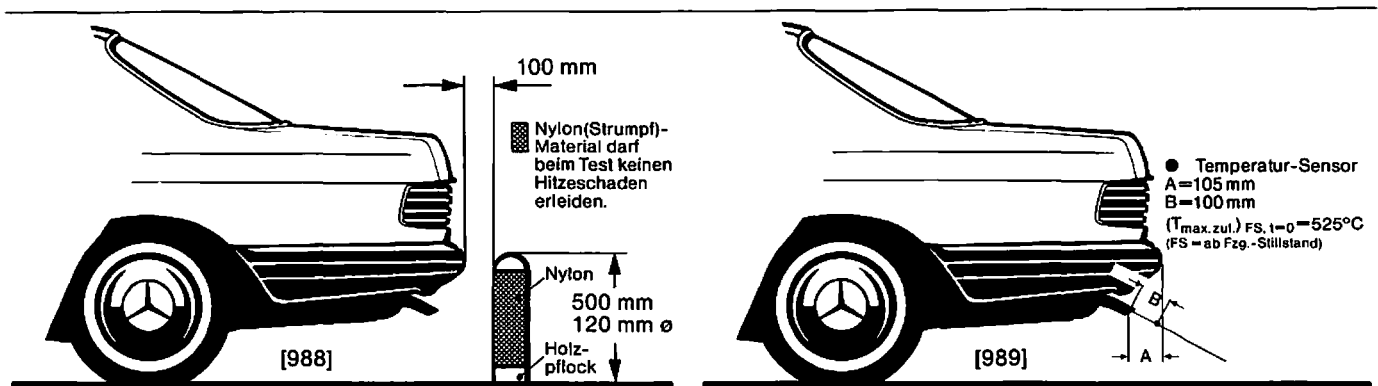


**Bild V.3-11:** Auspuff-Hitzeschutzbleche bei Japan-Fahrzeugen mit Katalysatoren im Auspuffstrang (am Beispiel der Auspuffanlage eines Mercedes-Benz).

### 3.3.7 Der Fußgängerschutz-Test ("Hot Air Blast Test")

Als letzte Besonderheit der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung sei zum Thema Hitzetest und Hitzeschutz besonders bei Fahrzeugen mit Katalysatoranlagen die Messung und Bewertung der Abgastemperatur nach dem Auspuff-Endrohr erwähnt.

Das Fahrzeug wurde hierbei nach der anfänglich gültigen Testvorschrift TRIAS 30-1974 während eines Zeitraumes von 20 Minuten bei 90 % der Maximalgeschwindigkeit in der Ebene (oder bei 100 km/h, wenn dieser 90-%-Wert > 100 km/h liegt) unter Zugrundelegung des Fahrwiderstandes auf ebener Straße, z. B. auf einem Rollenprüfstand, gefahren. Dann erfolgte ein Abbremsen in 30 s auf Leerlauf, und im gleichen Moment, da Leerlaufbetrieb erreicht war, wurde ein mit einem Nylonstrumpf überzogener Holzpfeiler - wie in Bild V.3-12 (linke Bildhälfte) gezeigt - hinter dem Auspuffrohr aufgestellt. Der Teststrumpf wurde 3 Minuten lang auf Beschädigungen beobachtet und durfte in diesem Zeitraum keinen Schaden erleiden.

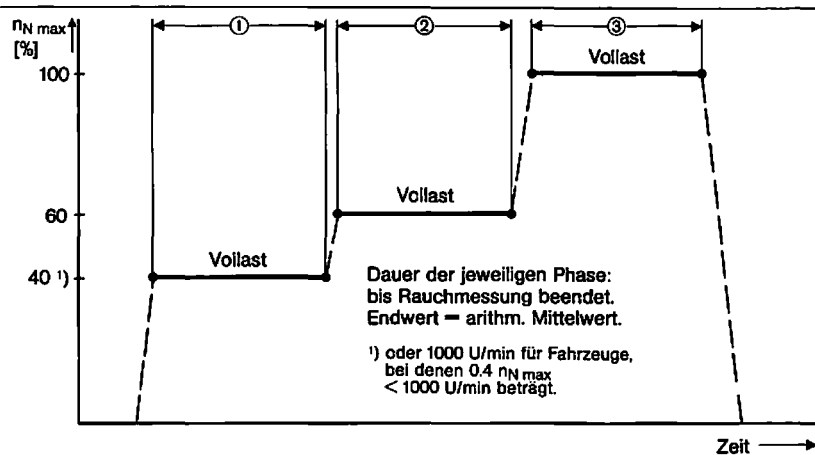


**Bild V.3-12:** Der Fußgängerschutz-Test (»Hot Air Blast Test«) im Rahmen der japanischen »Abgaszertifikation« von Fahrzeugen mit Katalysatoren im Auspuffstrang, nach [988, 989].

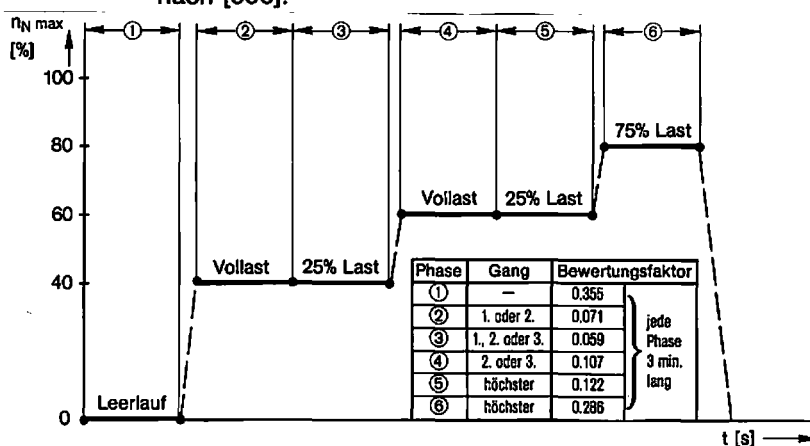
Im Rahmen der in Kap. 5 erwähnten Fortschreibung der hier angesprochenen Testprozedur entfiel die Prüfung mittels Nylonstrumpf. Statt dessen wurde ab Einführung der Vorschrift TRIAS 30-1979 die Abgastemperatur an der in Bild V.3-12 (rechte Bildhälfte) gezeigten Stelle gemessen, sie darf dort während des Steigungstest-Prüfabchnittes des Hitzeschadentests die gemäß der Grenzkurve von Bild V.3-10 festgelegten Temperaturen nicht überschreiten.

#### 4. Die Abgas-Zertifikation von Pkw mit Diesel-Motoren

Die heute gültigen Vorschriften für die Abgas-Zertifikation von Pkw mit Diesel-Mo-



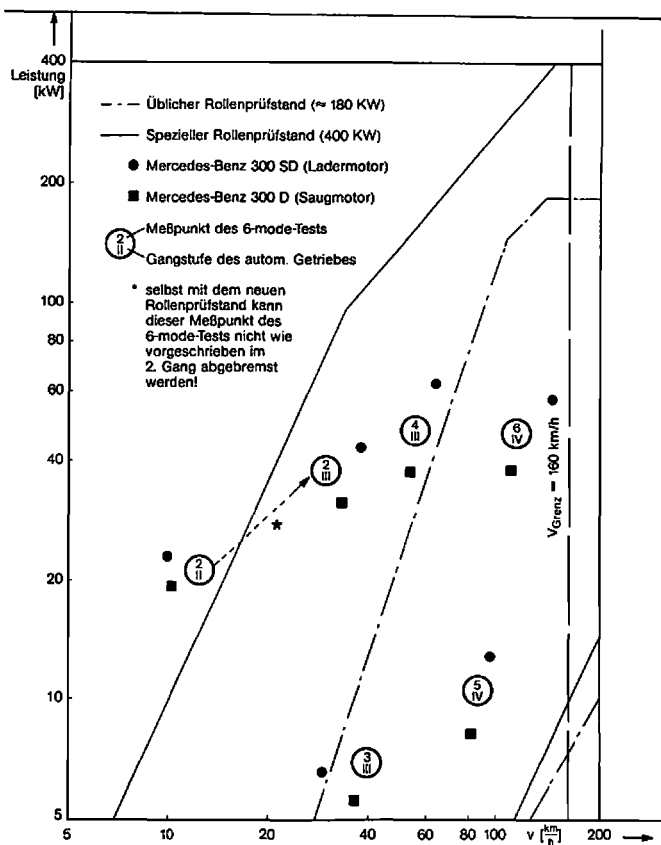
**Bild V.4-1:** Der Vollast-Rauchtest (»3-mode«) für die japanische »Abgas-Zertifikation« von Fahrzeugen mit Diesel-Motor, nach [990].



**Bild V.4-2:** Der 6-mode Test zur Bestimmung der gasförmigen Emissionen bei der japanischen »Abgas-Zertifikation« von Fahrzeugen mit Diesel-Motor, nach [991].

toren unterscheiden sich grundlegend von denen für Pkw mit Otto-Motoren. Sie fordern zunächst die Bestimmung der Rußemission unter Vollastbedingungen (bei drei verschiedenen Drehzahlen) in dem als »Rauchtest« bekannten Konstantphasentest wie er in Bild V.4-1 gezeigt ist. Darüber hinaus erfolgt eine Prüfung der gasförmigen Emissionen mittels des in Bild V.4-2 dargestellten »6-mode-Test«.

Hierbei ist es dem Fahrzeughalter freigestellt, diese Tests auf dem Motor- oder Fahrzeugrollenprüfstand durchzuführen. Werden für die Prüfung der gasförmigen Emissionen im »6-mode-Test« Fahrzeug-Rollenprüfstände verwendet, so sind außergewöhnlich starke Bremsen einheiten er-



**Bild V.4-3:** Leistungsanforderungen an den Fahrzeug-Rollenprüfstand beim Fahren des Japanischen 6-mode-Tests: Notwendigkeit eines speziellen Prüfstandes mit „überstarker“ Bremseinheit.

forderlich, da die normalerweise für Fahrzeug-Abgastests eingesetzten Chassis-Dynamometer die aufgrund der für diesen Diesel-Konstantphasentest gesetzlich festgelegten Getriebestufen resultierenden Leistungswerte nicht abbremsen können.

Bild V.4-3 zeigt die Bremscharakteristik eines Schenck-Rollenprüfstandes (wie er normalerweise bei Abgastests von Pkw mit Otto-Motoren Verwendung findet) mit Kennzeichnung der im "6-mode-Test" auftretenden Anforderungen an die Bremseinheit. Die vorgeschriebenen Belastungspunkte können bei weitem nicht erreicht werden. Daimler-Benz mußte aus diesem Grund speziell für die Japan-Zulassung von Pkw mit Diesel-Motoren ein "überstarkes" Dynamometer (Schenck) installieren.

Im Rahmen *künftiger Vorschriften* über eine  $\text{NO}_x$ -Absenkung auch bei Pkw mit Diesel-Motoren diskutiert die japanische "Environmental Agency" seit 1979 den möglichen Übergang von Stationärtests auf Fahrzyklen-Tests wie sie bei Pkw mit Otto-Motoren angewendet werden (10- und 11-mode-Test). Dieser Übergang kann aus den in Bild V.4-4 zusammengestellten Gesichtspunkten als sinnvoll angesehen werden und wurde

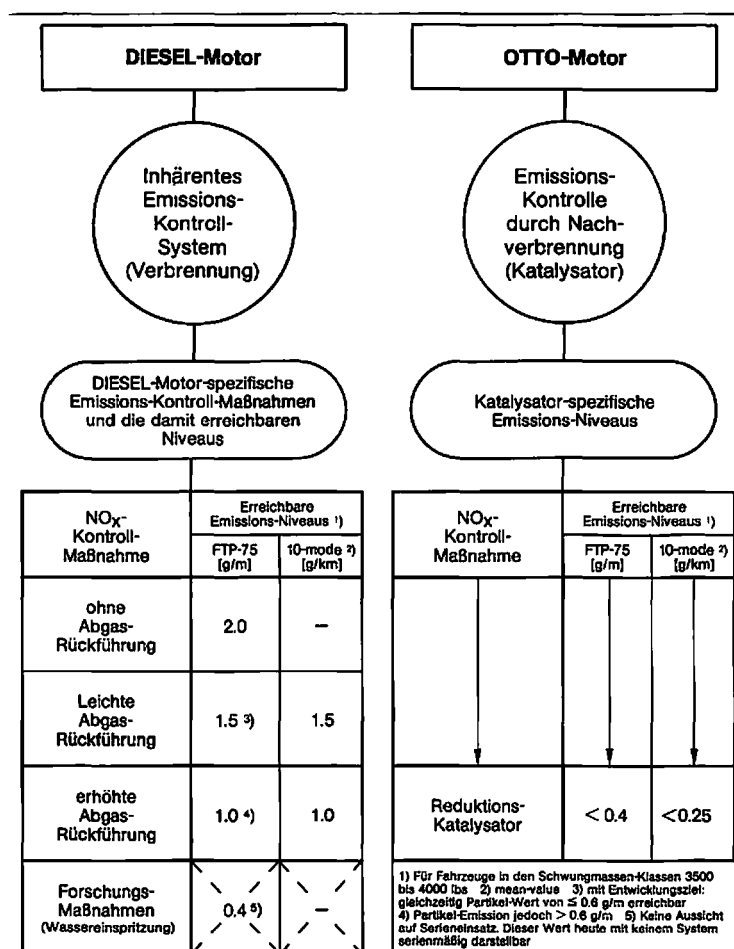
6-mode-Konstantphasen-Test	10-mode/11-mode-Fahrzyklus-Test
<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Keine Fahrzeug-Vorkonditionierung erforderlich, daher keine Fahrzeug-Abstellfläche erforderlich</li> <li>Während Typprüfung kann ein Motor mehrere Motorfamilien abdecken</li> </ul>	<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rollenprüfstand und Japan-Test-spezifische meßtechnische Ausrüstung würden besser ausgelastet und damit besser einsatzklar sein</li> <li>Statt Konzentrationsmessung würde die realistischere Massenemissionsmessung verwendet</li> <li>Vereinheitlichung der meßtechnischen Ausrüstung (CVS-Technik) mit Abgasprüfständen für USA möglich</li> <li>Fahrzyklus-Test entspricht besser den aktuellen Verkehrsbedingungen</li> </ul>
<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Konzentrationsmessungen können instationäres Emissionsverhalten (realen Fahrbetrieb) nicht wiedergeben</li> <li>Test erfordert extrem starke Leistungs-Absorptionseinheit des Rollenprüfstandes</li> <li>Vorgeschriebene Lastpunkte bedeuten sehr große Belastungen des noch nicht eingelaufenen Fahrzeugs (z. B. Hinterachse)</li> </ul>	<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fahrzeug-Abstellfläche für Vorkonditionierung erforderlich</li> <li>Innerhalb der Zertifizierung werden Tests am Gesamtfahrzeug und Transport in ein vom MOT anerkanntes Labor in Tokyo (meist Flugversand) erforderlich</li> </ul> <p>(MOT = Ministry of Transport)</p>

**Bild V.4-4:** Abwägung der Vor- und Nachteile eines Übergangs vom 6-mode- auf die 10- und 11-mode Tests bei der Diskussion weiterer Verschärfung der japanischen  $\text{NO}_x$ -Gesetzgebung für PKW mit Diesel-Motoren, [992].

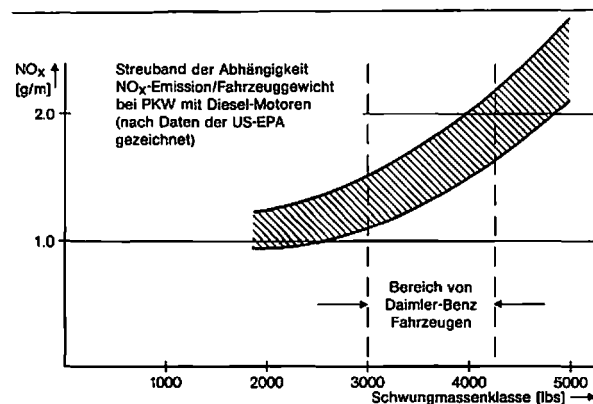
daher von Daimler-Benz in einem Hearing zur Fortschreibung der obengenannten Gesetzgebung gefordert [992].

Es ist jedoch von grundlegender Bedeutung, daß die erstmals für ein derartiges Testverfahren zu definierenden Emissionsgrenzwerte zunächst nur den Stand der Technik festschreiben (wie es von der japanischen Behörde auch schon im September 1974 bei der Einführung der ersten Standards für gasförmige Emissionen aus Diesel-Motoren im Konstantfahrt-Test realisiert

wurde. Diese Forderung ist besonders unter dem Gesichtspunkt der geplanten  $\text{NO}_x$ -Absenkungsbemühungen der japani-



**Bild V.4-5:** Grundsätzlicher Unterschied bei der Betrachtung der NO<sub>x</sub>-Emissions-Kontrollmöglichkeiten und der damit erreichbaren Emissionsniveaus an PKW mit Otto- und Diesel-Motoren in der US-FTP-75 und dem Japan 10-mode Test, [992].



Grenzwert-Herleitung für Daimler-Benz Fahrzeuge [g/km]		
Modell-Palette	Schwungmassen-Klassen Bereich	NO <sub>x</sub> -Emissions-Bereich für optimierte Prototypen im 10-mode-Test
240 D	3500	0.95
...	...	...
300 SD	4000	1.20
Daimler-Benz Vorschlag für „mean-value“ im 10-mode Test (beinhaltet Aufschlag von 0.3 g/km für Streuung von Motorkomponenten)		1.50
Daimler-Benz Vorschlag für „max-value“ im 10-mode Test (beinhaltet Aufschlag von 0.2 g/km für „prototype-to-production slippage“, z. B. Einstellungs-Toleranzen)		1.70

**Bild V.4-6:** Herleitung von „mean“- und „max“-NO<sub>x</sub>-Grenzwerten, bezogen auf das Potential der Emissionskontrolltechnologie von Daimler-Benz Fahrzeugen des Jahres 1980 beim eventuellen Übergang vom 6-mode auf den 10-mode Test der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung für PKW mit Diesel-Motoren, [992].

schen Behörden zu sehen, da zu scharfe NO<sub>x</sub>-Standards nur durch den Einsatz von noch nicht serienreif entwickelten Abgasrückführungsmaßnahmen erreicht werden können. Diese Technologien zeigen jedoch derzeit noch den Nachteil ansteigender Partikel-Emissionen, was wiederum wegen der noch ungeklärten Fragen der Kanzerogenität der angelagerten organischen Verbindungen auf alle Fälle zu vermeiden ist.

Zu diesem Thema der weiteren NO<sub>x</sub>-Kontrolle an Pkw mit Diesel-Motoren und dem Übergang auf repräsentative Fahrprogramme bei der Abgastest-Durchführung fanden 1979/80 in Tokyo Hearings statt, bei denen japanische Hersteller (1979) und Importeure (VW und Daimler-Benz, Januar 1980) vor einem Expertengremium von Professoren japanischer Universitäten sowie Mitgliedern der "Environmental Agency" ihre Standpunkte vertraten [992].

Daimler-Benz leitete anlässlich des letztgenannten Hearings die Notwendigkeit des Festschreibens der "state of the art" der Diesel-Emissionskontrolltechnologie bei der Einführung erstmaliger NO<sub>x</sub>-Standards anhand der in Bild V.4-5 dargestellten grundsätzlichen Unterschiede diesel- und ottomotorischer Abgasreinigung her und untermauerte diese Aussagen im Anschlußhearing des Jahres 1981 [993].

Die von dieser "state of the art" im neuen Instationärtest zunächst erfüllbaren "mean"- und "max"-NO<sub>x</sub>-Emissionswerte wurden vor der japanischen EA anhand des Bildes V.4-6 dargelegt.

##### 5. Erleichterungen im Typzulassungs- und speziell im Abgas-Zertifikationsverfahren durch die japanischen Behörden

Wie schon in Teil IV, Kap. 2 erwähnt, stellten Typzulassungen europäischer Fahrzeuge in oder für Japan aufgrund mangelhaften oder sehr späten Informationseingangs und erschwerter Zulassungsbedingungen eine große Belastung der in diesen Markt exportierenden Automobilhersteller dar. Unter dem zusätzlichen Eindruck des Handels-Ungleichgewichtes zwischen Japan und der EG war daher die Frage nach möglichen *Erleichterungen im allgemeinen Typzulassungsverfahren* von der EG-Kommission in Brüssel (die innerhalb der EG für handelspolitische Fragen zuständig ist) in die laufenden GATT-Verhandlungen ("General Agreement for Tariffs and Trade") über den Abbau derartiger nichttarifärer Handelshemmnisse aufgenommen worden. Im Oktober 1975 wurde das Thema den japanischen Behörden durch eine Verbalnote der EG-Delegation vorgetragen und schon am 9. Dezember 1975 antwortete die japanische Regierung durch das "Ministry of Foreign Affairs" mit einer prinzipiellen Bereitschaft, bestimmte Zulassungstests in Europa durchführen zu lassen und anzuerkennen {994}.

Am 09.03.1976 formulierte der VDA ("Verband der deutschen Automobilindustrie") in einem Schreiben an die EG-Kommission in Brüssel noch einmal die Wünsche der deutschen Automobilhersteller für Erleichterungen im Zulassungsverfahren mit Japan, und eine EG-Delegation vertrat diese Vorstellungen in Gesprächen mit den japanischen Behörden vom 10. bis 12. Mai 1976 in Tokyo. In diesen Verhandlungen wurde Einigung darüber erzielt, daß die japanischen Behörden offizielle Labors in den EG-Staaten inspizieren und dann Zulassungstests in diesen Labors anerkennen würden. Auch Tests bei europäischen Fahrzeugherstellern unter Aufsicht eines Vertreters des offiziellen nationalen Labors sollten anerkannt werden {995}.

Vom 18. bis 30. Oktober 1976 besuchten Vertreter der japanischen Behörden sowohl die EG-Kommission in Brüssel wie auch die TÜV in Essen (Abgas-Zulassung) und München (Geräusch-Zulassung). Bezüglich der in dieser Arbeit behandelten Abgas-Zulassung wurden den japanischen Inspektoren vom RWTÜV in Essen 10- und 11-mode-Tests sowie das Auslösen der Überhitzungsschutz-Warneinrichtung mit entsprechender Temperaturmessung vorgeführt {996}.

In einer über die EG eingegangenen Note erhielt der RWTÜV im März 1977 die Zustimmung, daß er die obengenannten Tests sowie den "Verdunstungstest" künftig stellvertretend durchführen dürfe, wobei sich die japanischen Behörden jedoch ein Nachprüf-recht vorbehielten {997}.

Nachdem zwei deutsche Automobilhersteller (VW, BMW) mit der Teil-Abwicklung von Abgas-Zertifikationen beim RWTÜV gute Erfahrungen gemacht hatten, ließ auch Daimler-



Benz erstmalig im Oktober 1978 ein Fahrzeug im Labor dieser Prüfstation testen. Da die anfangs befürchteten Kommunikationsprobleme zwischen Autohersteller, nationalem Testlabor, Importeur in Japan und japanischer Behörde in diesem Fall nicht auftraten, konnte das neue Zulassungsverfahren positiv bewertet werden. Durch die Tests beim RWTÜV kann auf den (Flug-)Versand eines Testfahrzeugs nach Tokyo verzichtet werden.

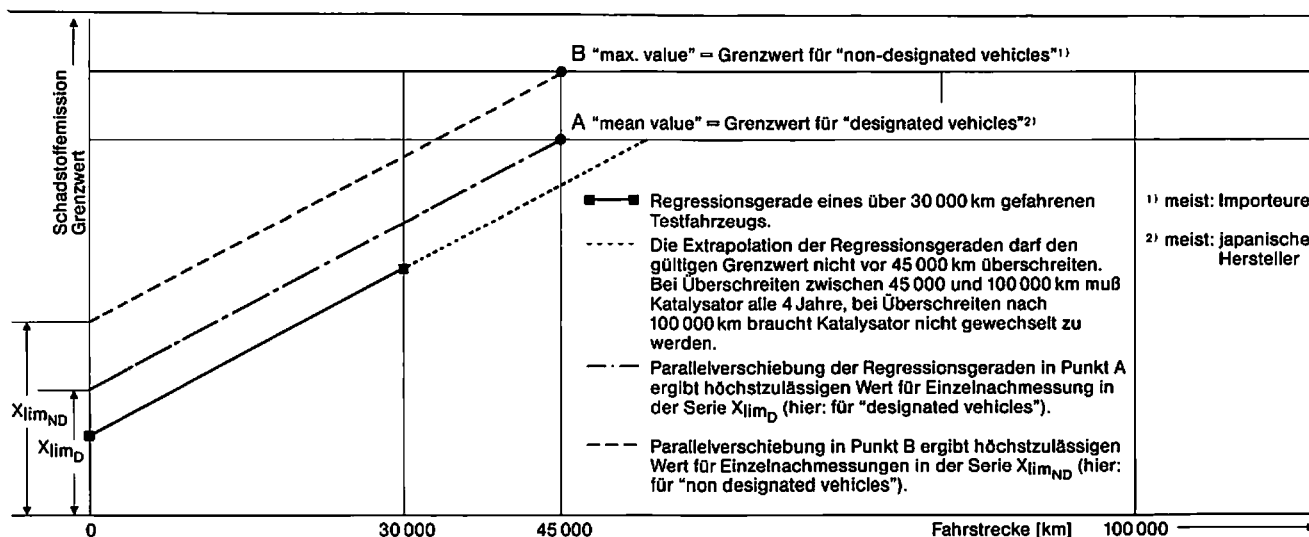
Hinsichtlich einer speziellen *Erleichterung im Abgaszertifikationsverfahren* veröffentlichte die "Automobile Type Approval Test Division" des "Traffic Safety and Nuisance Research Institute" im MOT am 15.11. und 28.11.1979 den Entwurf einer revidierten Fassung der in Kap. 3.3 beschriebenen Hitzeschaden-Test-Forderungen. Der 1974 erstmals eingeführte Test - so wurde begründet - habe sich bei der Zulassung nach den 1975er-, 1976er- und 1978er-Standards bewährt. Die Erfahrung von 5 Jahren Anwendung und Auswertung der Tests habe jedoch gezeigt, daß sich die bei den 4 verschiedenen Fahrbedingungen einstellenden Temperaturbedingungen allein durch den Steigungstest repräsentieren lassen {986}.

Die damit revidierte Testvorschrift (alt: TRIAS 30-1974, neu: TRIAS 30-1979) soll voraussichtlich ab Januar 1981 für Importfahrzeuge zur gesetzlichen Anwendung kommen, ein freiwilliges vorzeitiges Anwenden durch die Automobilhersteller ist jedoch freigestellt und wird von Daimler-Benz für die Modelljahr 1981 Zertifizierung bereits praktiziert.

## 6. Serienkontrolle

Die japanischen Serienkontrollvorschriften bezüglich des Emissionsverhaltens von Pkw mit Otto- und Diesel-Motoren sind im Vergleich zu den in Teil III, Kap. 6 behandelten US- und Kalifornien-Auflagen relativ einfach: Der Fahrzeug-Hersteller oder Importeur muß mindestens 1 % der Produktion des jeweiligen Fahrzeugmodells einem 10-mode- und einem 11-mode-Test unterziehen. Die Verteilung der Serienmeßwerte muß pro Fahrzeugtyp vollständig unter dem jeweils anzuwendenden Zulassungsgrenzwert (bei "non-designated" Fahrzeugen: unter dem "max. value", bei "designated" Fahrzeugen: unter dem "mean value") liegen {982}.

Der Hersteller oder Importeur muß sich für diese Serienkontrolle im Falle des Vorliegens einer Verschlechterung des Emissionsniveaus über der Fahrzeug-Laufzeit ein AQL ("acceptable quality limit") ermitteln, an dem er dann (im Gegensatz zu dem obengenannten Verfahren, das für Systeme ohne Verschlechterung gilt) seine Testergebnisse mißt. Dieses Verfahren ist in Bild V.6-1 erläutert: Die Verschlechterungsgerade aus dem 30.000 km Dauerlauf wird bei 45.000 km durch den jeweils anzuwendenden Grenzwert gelegt und nach 0 km verlängert. Der sich auf der Ordinate bei 0 km ergebende Wert ist dann der AQL oder Grenzwert ( $x_{lim}$ ) für die Serienkontrolle. Die Verteilung der Serienmeßwerte muß auch hier wieder vollständig unter diesem

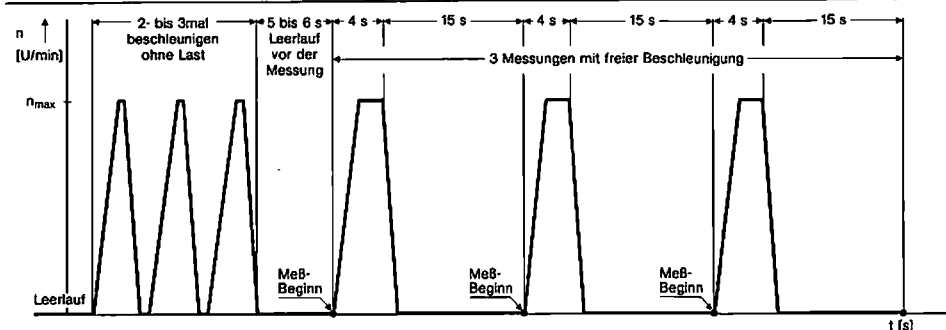


**Bild V. 6-1:** Ermittlung des höchstzulässigen Emissionswertes ( $X_{lim}$ ) für Einzelnachmessungen in der Serienproduktion aus der Regressionsgeraden des Zertifizierungslaufs eines Fahrzeugs (die Verteilung der Serien-Meßwerte muß vollständig unter den so gefundenen Maximalwerten liegen!), nach [982].

selbst ermittelten Grenzwert liegen, wobei  $x_{lim ND} / x_{lim D}$  die Serienkontrollgrenzwerte für "non-designated" / "designated" Fahrzeuge sind. Nach Abschluß der Tests meldet der Hersteller oder Importeur die Ergebnisse an das MOT ("completion inspection certificate").

## 7. Überwachung von Fahrzeugen im Verkehr

Eine Überwachung des Emissionsverhaltens von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen erfolgt beim Pkw mit Otto-Motor bezüglich des CO- und HC-Gehaltes im Leerlauf (auf einem Klebeschild im Motorraum sind die vom Hersteller hierzu angegebenen Spezifikationen ersichtlich), beim Pkw mit Diesel-Motor bezüglich Rauchdichtewerte mittels des in Bild V.7-1 gezeigten "freie Beschleunigungs"-Tests. Dieser Test ist auch im Rahmen der Zertifizierung durchzuführen, um den für die Rauchdichte-Nachprüfung benötigten Referenzwert festzulegen.



**Bild V.7-1:** Der Rauch-Test mittels freier Beschleunigung für die Überprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen mit Diesel-Motor, nach [999].

tifizierung durchzuführen, um den für die Rauchdichte-Nachprüfung benötigten Referenzwert festzulegen.

Neben den hierfür eingesetzten sogenannten "fliegenden Kontrollen" besteht hauptsächlich das in den "Safety Regulations for Road Vehicles" § 31 Absatz 7 (CO) Absatz 8 (HC) und Absatz 14 (Diesel-Rauchtest) gesetzlich festgeschriebene Routine-Überwachungsprogramm. Danach werden von offiziellen Teststationen (regionale Behördenprüfstellen für Registrierung und Zulassungserneuerung) sowie von privaten, durch das MOT lizenzierten Reparaturwerkstätten CO- und HC-Leerlauftests bei Fahrzeugen mit Otto-Motor und freie Beschleunigungstests bei Fahrzeugen mit Diesel-Motor durchgeführt. Es gibt 71 solche behördlichen Prüfstellen und 47.000 derartige Werkstätten,

in denen auch die seitens des MOT in 6monatigen Intervallen empfohlenen Wartungsarbeiten sowie die Zulassungserneuerungen durchgeführt werden. Die Zulassungserneuerungen müssen in folgenden Intervallen stattfinden:

alle 2 Jahre für Pkw < 10 Jahre alt

jedes Jahr für Taxis, Lkw, Busse und Pkw > 10 Jahre alt.

#### 8. Rückrufaktionen, Sanktionen und Kontrollbesuche

Bis heute gab es keine behördlich verordneten *Rückrufaktionen* oder *Sanktionen* im Zusammenhang mit Emissionskontrollvorschriften oder dem Einsatz von Emissionskontrollsystemen.

Andererseits existieren durchaus gesetzliche Vorschriften bezüglich der sogenannten "safety related recall campaigns". Diese Bestimmungen finden sich in § 13 der MOT-Ordinance Nr. 85 vom 18.05.1951. Diese Regelung war vom MOT zunächst dafür gedacht, die Sicherheit einheimischer Fahrzeuge durch Rückrufaktionen sicherzustellen. Sie wurde dann jedoch auch auf Importeure übertragen.

Eine Rückrufaktion wird normalerweise durch den Fahrzeughersteller (bei einheimischer Produktion) oder durch den Importeur nach Anweisung des Fahrzeugherstellers (bei ausländischer Produktion) eingeleitet. Von ganz wesentlicher Bedeutung ist aber auch eine Bestimmung des MOT, die lautet:

"Whenever a defect in construction or component unit has been ascertained the dealer or the repair shop should report to MOT without delay" {1000}.

Auf diesem Wege können dem MOT ebenfalls als sicherheits-relevant vermutete oder befundene Mängel durch Werkstätten - und inzwischen mit immer stärkerer Wahrscheinlichkeit auch durch Privatpersonen - zur Kenntnis gebracht werden. In diesen Fällen ordnet dann das MOT von sich aus die Einleitung einer Rückrufaktion an.

Im Zusammenhang mit Emissionskontroll-Vorschriften oder -systemen wurden bisher keine *behördlichen Kontrollbesuche* bei Automobilherstellern zum Zwecke der Überprüfung ordnungsgemäßer Zulassungsverfahren durchgeführt, wie dies seitens der US-EPA schon mehrmals praktiziert wurde (siehe dazu auch Teil III, Kap. 5.2.4.3). Lediglich zu gewissen Testumfängen, die aufgrund der in Kap. 5 beschriebenen Erleichterungen seit kurzem im Herstellerwerk des exportierenden Automobilherstellers möglich sind, waren japanische Inspektoren als Hilfestellung bei den Zulassungstests anwesend.

Das japanische MOT hat dagegen bei Unfällen, die auf Konstruktionsfehler zurückzuführen waren, schon einige Male Untersuchungen in den Büros einheimischer Hersteller und in deren Serienfertigung angestellt.

#### 9. Nicht limitierte Schadstoffe

Obwohl schon die "Enforcement Regulations for Air Pollution Control Law" (Law No. 329) vom 30.11.1968 unter dem Begriff der von Automobilen emittierten Schadstoffe

außer CO, HC und Bleiverbindungen auch Partikelemissionen definieren, gibt es bis heute außer den in den vorigen Kapiteln genannten Rauchtests an Diesel-Motoren keine Massenemissionsbegrenzung für "Particulate Matter"-Emissionen.

Zwar finden sich außer zum Thema Partikelemission in den japanischen Emissionskontrollgesetzen auch Formulierungen, die "other harmful substances" im Abgas von Automobilen verbieten {100}, eine Definition solcher Stoffe, wie sie z. B. von der US-EPA bekanntgegeben wurde {002}, existiert jedoch nicht. Ausgelöst durch entsprechende Aktivitäten in den USA, haben inzwischen auch japanische Automobilhersteller mit Arbeiten zum Nachweis und zur Erforschung derartiger Substanzen begonnen.

#### 10. Kostenbetrachtungen

Um eine Abschätzung des finanziellen Aufwandes für die Arbeiten im Zusammenhang mit der japanischen Abgaszertifizierung zu ermöglichen, sind in Bild V.10-1 die Kosten einzelner - im Zusammenhang mit diesen Zulassungsverfahren stehenden - Aktivitäten und Investitionen zusammengestellt.

Pos.	AKTIVITÄT	Kosten [DM] <sup>1)</sup>
1	10-mode Test mit Vorkonditionierung	2 150,-
2	11-mode Test	1 900,-
3	Gemeinsames Fahren von Pos. 1 und Pos. 2	2 600,-
4	Verdunstungsemissions-Test	1 600,-
5	Hitzeschadentest incl. Fahrzeugvorbereitung	27 200,-
6	Fahrzeugvorbereitung zu Pos. 5	23 400,-
7	Zertifizierungstest beim TÜV <sup>2)</sup> in Essen (Pos. 5 nur teilweise)	6 100,-
8	Flugversand eines Testfahrzeugs nach Japan (je nach Masse)	10 bis 15 000,-
9	Schiffsversand eines Testfahrzeugs nach Japan (Einzelversand)	3 600,-
10	Dauerlauf 100 000 km	380 000,-
11	Dauerlauf 30 000 km	150 000,-
12	Erstellung Zertifizierungsunterlagen für Behörde	105 000,-
13	Dauerlauf 1000 km (incl. Pos. 14)	85 000,-
14	Aufbau Versuchsmotor und -fahrzeug für Pos. 13	26 000,-
15	Vollast-Rauchtest („3-mode Test“) für PKW mit Diesel-Motor	300,-
16	6-mode Test für PKW mit Diesel-Motor	2 150,-

1) Kosten auf das Jahr 1979 bezogen; 2) TÜV = Technischer Überwachungsverein

**Bild V.10-1:** Kostenübersicht für Aktivitäten bei der Emissionszertifizierung von PKW mit Otto- und Diesel-Motoren für Japan, [1003].

#### 11. Der "Graue Markt"

In den vorangegangenen Abschnitten wurde ein Bild der Komplexität der japanischen Emissionskontrollbestimmungen und des hohen Aufwandes der Industrie zur Erfüllung dieser Vorschriften vermittelt. Unter Berücksichtigung dieses Aufwandes für die der Automobilindustrie auferlegten Zulassungsverfahren muß es als unfair bezeichnet werden, daß es durch die Aktivitäten des "grauen Marktes" Möglichkeiten gibt, diese umfangreiche Gesetzgebung sowie den aus ihrer Befolgung resultierenden organisatori-

schen und finanziellen Einsatz mit Unterstützung der japanischen Behörden zu unterlaufen. Hierbei soll nicht von den Fahrzeugen gesprochen werden, die vor 1973 gebaut wurden, da es für diese eine offizielle Einfuhrprozedur ohne komplizierte Emissionstests gibt.

Über den japanischen "grauen Markt" werden nicht nur Gebrauchtwagen ( $\approx 50\%$  der grauen Importe), sondern auch Fahrzeugmodelle eingeführt, die z. B. aus verkaufspolitischen oder auch Emissionskontrollgründen vom Automobilhersteller nicht nach Japan eingeführt werden sollen oder können. Diese Importe sind hier angesprochen. Sie müssen zwar auch offizielle Abgastests im MOT-Labor absolvieren (wobei die Emissionsstandards des jeweiligen Fahrzeugbaujahres Anwendung finden), sie werden aber zu diesem Zweck "getrimmt" und nach Testabschluß meist wieder zurückgebaut. So absolvieren z. B. die von einigen Firmen in Japan offiziell nicht eingeführten Fahrzeuge nach Import über den "grauen Markt" Abgastests mit einem Katalysator, der bleifreien Kraftstoff erfordert. Da diese Fahrzeuge aber im späteren Betrieb aus technischen Gründen mit verbleitem Kraftstoff betrieben werden müssen, werden die für den offiziellen Zulassungstest eingebauten Katalysatoren nach dem Test entweder wieder ausgebaut oder durch den Bleigehalt des Kraftstoffes nach kurzer Laufzeit unwirksam. In jedem Fall entsprechen der "Zulassungs-Zustand" nicht dem "Serienzustand" und das Emissionsverhalten im praktischen Fahrbetrieb nicht den gesetzlichen Forderungen. Wenn erforderlich, werden zum Bestehen des behördlichen Abgastests auch extrem magere Einstellungen verwendet, wobei keine Rücksicht auf das Fahrverhalten genommen wird.

Von all diesen Vorgängen wissen sowohl das offizielle Prüflabor, das MOT und die Zollbehörden, aber bisher haben Gegenmaßnahmen außer in Überlegungen, Abhilfe durch Formalismen beim Import (Information und Bevollmächtigung des Zolls zum Einfuhrverbot, wie in den USA) zu schaffen, keine Gestalt gewonnen.

Wenn man gegen diesen Hintergrund die zum Teil extrem aufwendigen und langwierigen bis ins kleinste Detail gehenden Diskussionen sieht, die ein Automobilhersteller mit dem Zulassungsbereich des MOT in vielen Phasen der Abgas-Zertifikation führen muß, ist die offensichtliche Duldung des grauen Marktes besonders unverständlich.

Es sei darauf hingewiesen, daß für die offiziellen Importeure in Japan nicht nur ein finanzieller Verlust dadurch entsteht, daß Kunden die billigeren "grau" importierten Fahrzeuge kaufen (der "graue" Importeur braucht weder Ersatzteillager-Kosten noch Service-Aufwand etc. auf den Verkaufspreis umzulegen), sondern daß es als besonders enttäuschend empfunden wird, wenn Kundenwünsche nach bestimmten Modellen wegen Liefer-Unmöglichkeit abgelehnt werden müssen und die Kunden das ins Auge gefaßte Fahrzeug dann doch - auf dem "grauen Markt" - erhalten. Die offiziellen Importeure haben dann oft die Aufgabe, diese Fahrzeuge, für die sie keine Ersatzteile lagern, warten zu müssen.

Jahr	Neu		Gebraucht		Gesamt
	Stück	%	Stück	%	
1974	1950	78	559	22	2509
1975	1527	74	554	26	2071
1976	994	52	933	48	1927
1977	730	21	2682	79	3412
1978	1564	27	4200	73	5764
1979	3146	50	3112	50	6258

**Bild V.11-1:** Übersicht und Tendenzen der Fahrzeug-Importe über den „Grauen Markt“ in Japan

Hersteller	Gesamte offizielle Importe			Gesamte Importe über den „Grauen Markt“		
	1977	1978	1979 <sup>1)</sup>	1977	1978	1979 <sup>1)</sup>
Daimler-Benz <sup>2)</sup>	3674	3818	3666	155	602	628
BMW	1547	2291	2253	450	762	721
Porsche	641	816	741	293	366	211
Austin Mini <sup>3)</sup>	3	0	0	316	672	574
Lotus	13	27	20	251	144	43
Innocenti	0	0	0	369	308	658

<sup>1)</sup> Januar bis Oktober    <sup>2)</sup> Darunter 450 SEL-6.9, 450 SLC-5.0, 300 SD und 300 CD, d. h. Modelle, die Daimler-Benz nicht nach Japan liefert.    <sup>3)</sup> Ab 1978 offizielle Einfuhr wegen nicht erreichbarer Emissionsgrenzwerte eingestellt.

**Bild V.11-2:** Anteil des japanischen „Grauen Marktes“ an den Importzahlen einiger Automobilmarken

In Bild V.11-1 sind die grauen Importe seit 1974 zusammengestellt, und Bild V.11-2 charakterisiert die zuvor beschriebene Situation am Beispiel einiger ausgewählter Hersteller (siehe besonders "Austin Mini" und "Innocenti", deren offizielle Importe im Jahre 1978 bei 0 lagen!).

---

## TEIL VI

### Bemühungen des Gesetzgebers zur Erfassung, Begrenzung und Reduzierung der durch Kraftfahrzeuge verursachten Schadstoffemissionen, dargestellt anhand der Entwicklungsgeschichte der Schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren

#### 1. Die Luftqualitätssituation in Schweden

Basisuntersuchungen über Luftverunreinigungen im allgemeinen begannen 1958 in Göteborg durch C. Brosset der Chalmers Technische Hochschule. Spezielle Untersuchungen, bezogen auf Schadstoffemissionen aus dem Kraftfahrzeug, wurden 1968 in Stockholm durch die Automobilabgas-Gruppe der "AB Atomenergi", Studsvik, eingeleitet {1004}.

In den anschließenden Jahren erfolgten in zahlreichen schwedischen Gemeinden Untersuchungen, mit dem Ziel, die Größenordnung der durch Fahrzeugabgase verursachten Schadstoffemissionen sowie deren Einfluß auf die Luftqualität zu erfassen. So wandte sich die schwedische Naturschutzbehörde im September 1975 an 88 Gemeinden mit mehr als 25.000 Einwohnern mit einer Anfrage über die Ergebnisse von Autoabgasuntersuchungen, die eventuell in der jeweiligen Gemeinde seit 1969 durchgeführt worden waren, und stellte fest, daß während dieser 6-Jahres-Periode in 28 Gemeinden derartige Untersuchungen stattgefunden hatten. Im Mai 1977 veröffentlichte die Naturschutzbehörde daraufhin einen Report, der alle Einzeluntersuchungen zusammengefaßt auswertete {1005}.

Wenn man nach diesem komprimierten Überblick - der den derzeit umfassendsten Erkenntnisstand über die durch Abgasemissionen von Automobilen in Schweden verursachte Luftqualitätsbeeinflussung widerspiegeln dürfte - die AQ-Standards anwendet, die z. B. in den Vereinigten Staaten, Kanada, Japan und der Bundesrepublik Deutschland maßgebend sind, so werden diese Werte für Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC), Feststoffe (Staub, Ruß) und in bestimmten Fällen auch für Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) an und neben stark frequentierten Straßen und Verkehrsadern in vielen dicht besiedelten Gegenden Schwedens überschritten. Dies ist besonders in den größten Städten - Stockholm und Göteborg - der Fall. Während in Stockholm die Wohnungsheizungen und der Kraftfahrzeugverkehr die Hauptursache für Luftverunreinigungen sind, kommt in

Emission (t/Jahr) Transportmittel	Kohlenmonoxid	Kohlen- wasserstoff	Stickoxide
Fzge. mit Otto-Motor	1 026 200	141 500	89 200
PKW mit Diesel-Motor	5 500	1 600	1 800
NFZ mit Diesel-Motor	37 400	9 600	62 400
Busse mit Diesel-Motor	6 200	1 600	10 300
Krafträder	8 900	3 000	50
Mopeds	18 000	15 800	25
Insgesamt (abgerundet)	1 102 000	174 000	164 000

Göteborg noch die Industrie als zusätzlicher wesentlicher Schadstoffemittent in Betracht {1004}.

Weiterhin wird festgestellt, daß die gesamte Schadstoffemission aus Kraftfahrzeugabgasen in Schweden heute größer ist als die durch andere Quellen -

**Bild VI.1-1:** Emissionen von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoff und Stickstoffoxiden durch bestimmte Transportmittel in Schweden im Jahr 1975 [1008].

wie z. B. Industrie, Wohnungsheizung, Stromerzeugung und Abfallverbrennung - verursachten Luftverunreinigungen {1007}. Die im Jahre 1975 durch bestimmte Transportmittel in Schweden verursachten Emissionen an CO, HC und NO<sub>x</sub> sind in Bild VI.1-1 der Summe des entsprechenden Schadstoffausstoßes aus anderen Quellen gegenübergestellt.

In einer schwedischen Durchschnittsstadt wird der Kraftfahrzeugverkehr verantwortlich gemacht für ungefähr den gesamten Gehalt an Kohlenmonoxid, für mehr als 90 % der Kohlenwasserstoffe und für gut 25 % der Feststoffe, die in Fahrbahnnähe vorliegen.

Sekundäre vom Automobil verursachte Verunreinigung	Geschätzte Masse [10 <sup>3</sup> t/Jahr]
Bitumen-Straßen- deckenverschleiß	9000
Reifengummi	10
Bremsbeläge	0,1

Er wird ebenfalls als Verursacher des überwiegenden Teils der Blei- und Benz(a)pyrengelalte angesehen, die an stark befahrenen Straßen gemessen werden können {1007}. Wie Bild VI.1-2 darüber hinaus zeigt, ergeben der Verschleiß von Fahrbahn, Bereifung, Bremsen und die Aufwirbelung von Straßenstaub eine ebenfalls dem Automobilverkehr zuzurechnende verhältnismäßig starke Emission von sekundären Feststoff- Verunreinigungen {1006, 1010}.

**Bild VI.1-2:** Geschätzte Masse zusätzlicher Verunreinigungen, die nicht vom Motor, sondern durch das Gesamtfahrzeug verursacht werden, nach [1009].

Der obengenannte Report kommt jedoch - bezogen auf die *landesweite* schwedische Luftqualitätssituation - zu dem Schluß, daß das einzelne Kraftfahrzeug keine große Verunreinigungsquelle darstellt. Luftverunreinigungen durch Autoabgase seien vor allen Dingen ein Problem an stark befahrenen Straßen in dicht besiedelten Gegenden. Hier können die Emissionen von Kraftfahrzeugen - speziell an Stellen, wo die natürlichen Lüftungsbedingungen weniger gut sind - eine verhältnismäßig hohe Luftqualitätsbeeinträchtigung verursachen.

Bezüglich der Kohlenmonoxiddmessungen kann gesagt werden, daß der US- und der WHO-8-Stunden-Grenzwert von 9 ppm erheblich öfter überschritten wird, als der 1-Stunden-Grenzwert von 35 ppm, und daß dies an in Städten gelegenen Straßen mit einer gegebenen Straßenbreite zutrifft, wenn der Verkehrsstrom bestimmte Werte überschreitet {1011}. Den US- und den von der WHO empfohlenen CO-Grenzwerten für 8 Stunden liegt hierbei wahrscheinlich die in Bild VI.1-3 gezeigte, auf einer gewissen Bebauung (Häuser mit 3 bis 6 Etagen ein- oder beidseitig der Straße) basierende Abhängigkeit



Straßenbreite [m]	Verkehrsfluß (Fahrzeuge/jährlicher Durchschnittstag)
10 bis 16	5 000 bis 10 000
18 bis 25	15 000 bis 20 000
30 bis 35	30 000 bis 35 000

**Bild VI.1-3:** Verkehrsfluß, bei dem die USA- oder WHO 8-Stunden-Grenzwerte für CO (ppm) noch nicht überschritten werden, [1012]. (WHO – World Health Organization)

zwischen Straßenbreite und Verkehrsfluß zugrunde {1012}.

Abschließend seien noch einige spezielle Bemerkungen hinsichtlich der Beeinflussung der Luftqualität durch Fahrzeuge mit Diesel-Motoren ergänzt, wobei auf den Untersuchungsbericht "Dieselabgase" {1013} der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums zurückgegriffen wird. Dieser Bericht beurteilt die schwedische Dieselpopulation in drei Gruppen: Die größte Gruppe von Dieselfahrzeugen, landwirtschaftliche Schlepper, tritt weder in Gebieten hoher Fahrzeugdichte auf, noch verursacht sie selbst eine für die Umwelt, d. h. Luftqualität, nachteilige hohe lokale Fahrzeugkonzentration {1014}.

Den zweitgrößten Anteil an der Dieselpopulation bilden die Nutzfahrzeuge, die hauptsächlich im Überlandverkehr eingesetzt werden. Obwohl diese Gruppe ebenfalls keine lokal hohe Fahrzeugdichte verursacht, kann sie auf durch Städten verlaufenden Fernstraßen hinsichtlich Rauch und Geruch zum allgemeinen Luftverunreinigungsproblem beitragen. Bezüglich der zur gleichen Gruppe gerechneten dieselmotorgetriebenen Busse wird gesagt, daß sie zwar nur einzeln verkehren, jedoch durch Einsatz in dicht besiedelten Gebieten ein örtliches Umweltproblem verursachen können. Dies gilt besonders für Haltestellen, häufig durchfahrene Straßen, Parkplätze und Busbahnhöfe {1015}.

Die dritte im Rahmen dieser Arbeit besonders interessierende Gruppe der mit Diesel-Motoren angetriebenen Pkw repräsentierte im Berichtszeitraum (1967) lediglich etwas mehr als 1 % der gesamten Pkw-Population (bis 1980 erhöhte sich dieser Anteil geringfügig auf  $\approx 4$  %). Da aber Pkw mit Diesel-Motoren meist in Taxis gefahren werden, sind sie sehr stark am Verkehr in dicht besiedeltem Gebiet beteiligt und daher an diesen Orten bezüglich der Umweltbelastung von Bedeutung.

Aus der dargestellten Aufteilung des Dieselfahrzeugbestandes folgt, daß von einem Umweltproblem durch Diesel-Motoren nicht generell gesprochen werden kann. Einem derartigen Problem kann aus den obengenannten Gründen höchstens ein lokaler Charakter zuerkannt werden, auf jeden Fall leisten Fahrzeuge mit Diesel-Motoren nur einen kleinen Beitrag zu dem durch den starken Anstieg der Fahrzeuge mit Otto-Motoren verursachten Emissionsproblem in Schweden. Leider tragen jedoch immer wieder Einzel-exemplare durch übermäßige Rauch- und Geruchsentwicklung dazu bei, daß auch der Pkw mit Diesel-Motor in der schwedischen Öffentlichkeit als bedeutender Umweltverschmutzer angesehen wird {1016}.

## 2. Der Gesetzgebungsprozeß in Schweden

An der Emissionskontrollgesetzgebung sind in Schweden folgende Körperschaften beteiligt {1004}:

Landwirtschaftsministerium	(Jordbruksdepartementet)
Amt für Naturschutz	(Naturvårdsverk)
Verkehrsministerium	(Kommunikationsdepartementet)
Staatliches Amt für Verkehrssicherheit	(Statens Trafiksäkerhetsverk, TSV)

Die Entstehung eines entsprechenden Gesetzes ist in Bild VI.2-1 anhand eines Ablaufschemas dargestellt.

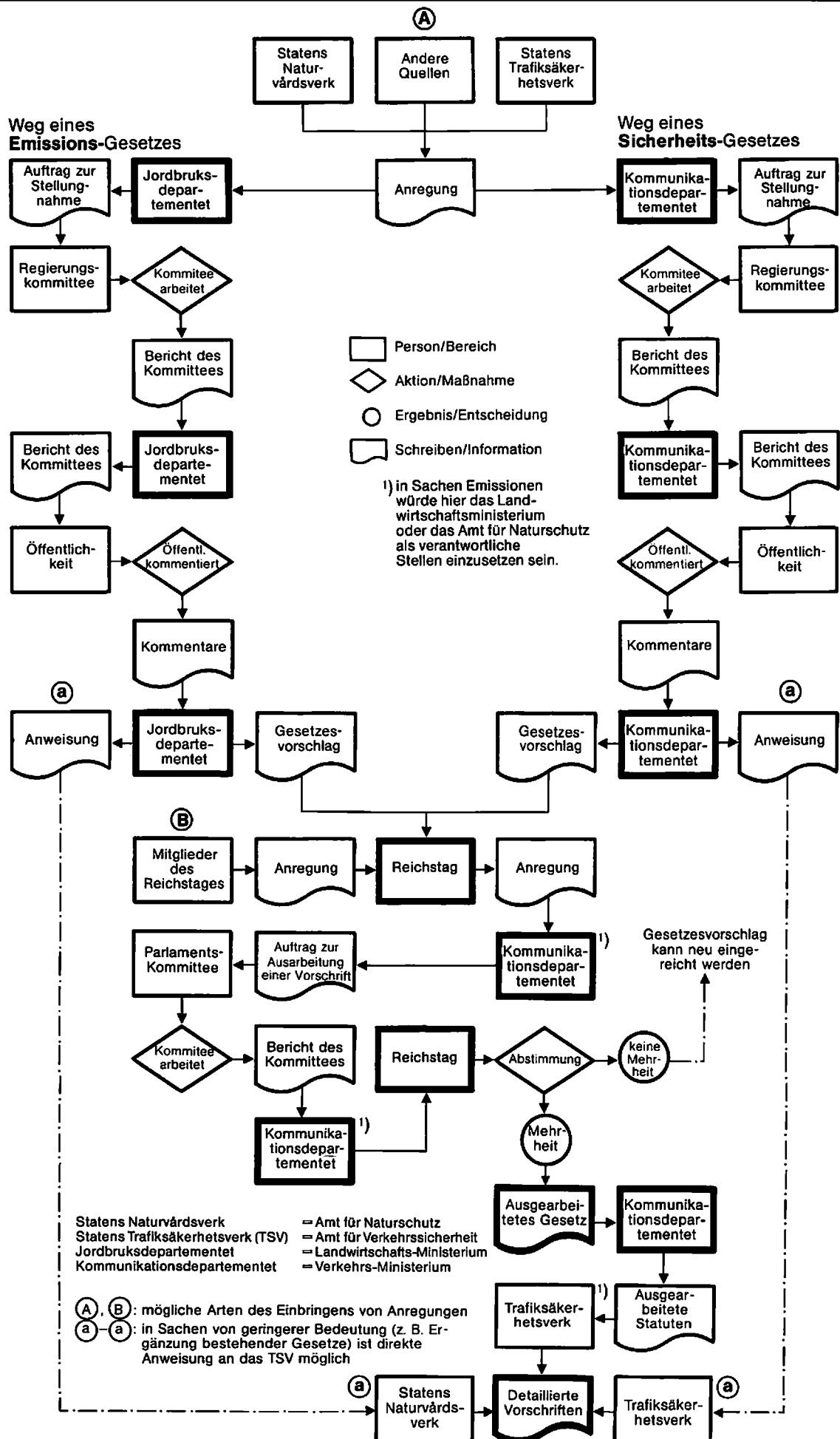
Anregungen zu einem Gesetzesvorschlag können auf zwei Wegen (Initiativen) eingebracht werden. Bei *Initiative A* erfolgt die Anregung entweder durch das Amt für Naturschutz, das Verkehrssicherheitsamt oder durch andere Stellen. Die Anregung wird dann entweder dem Landwirtschaftsministerium oder dem Verkehrsministerium zugeleitet, die jeweils ein Komitee mit ihrer Bearbeitung beauftragen. Der Bericht des jeweiligen Komitees wird an das entsprechende Ministerium zurückgeleitet und ebenfalls zur öffentlichen Stellungnahme ausgelegt. Das Ministerium leitet den so entstandenen Gesetzesvorschlag an den Reichstag weiter.

Bei *Initiative B* legen Reichstagsmitglieder dem Reichstag ihre Vorschläge direkt vor. Der Reichstag gibt den Vorschlag an einen Ausschuß zur Detailbehandlung weiter und erhält einen ausgearbeiteten Gesetzesentwurf zur Stellungnahme zurück. Nach endgültiger Entscheidung durch die Regierung wird durch den Reichstag das entsprechende Gesetz verabschiedet und an das Verkehrsministerium weitergeleitet. Dort erfolgt Umwandlung in Statuten, die schließlich von der Verkehrssicherheitsbehörde (TSV) als detaillierte Vorschriften herausgegeben werden.

In Fällen kleinerer Gesetzesänderungen (Vorgänge geringerer Bedeutung) kann das Verkehrsministerium - wie in Bild VI.2-1 gezeigt - auch direkt einen Erlaß über die vorgesehene Änderung an das Verkehrssicherheitsamt weiterleiten. In diesem Fall ist eine Diskussion im Reichstag nicht erforderlich.

## 3. Historische Entwicklung und Ziele der Emissionskontroll-Gesetzgebung für Pkw in Schweden

Die erste gesetzliche Vorschrift bezüglich der Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen ist schon 1951 in Abschnitt 58 der Straßenverkehrsordnung ("Highway Traffic Ordinance") zu finden. Sie ist jedoch noch recht allgemein gehalten und verlangt, daß "der Fahrer eines Motorfahrzeuges sein Fahrzeug so betreiben soll, daß es kein unnötiges Geräusch verursacht und daß er - soweit wie möglich - sicherstellt, daß das Fahrzeug keine Belästigung durch Rauch oder Gase verursacht". Forderungen an das Fahrzeug selbst waren in dieser Regelung noch nicht enthalten {1004}.



**Bild VI. 2-1: Der Gesetzgebungsprozeß in Schweden, nach [1004]**

Trotz der allgemeinen Formulierung findet sich in der obengenannten Vorschrift eine Strafandrohung von 500 Kronen für den Fall des Nicht-Befolgens. Diese Inkonsequenz wurde durch das staatliche Straßenverkehrsamt ("National Road Board", "Traffic Bureau") in einem am 1. Juni 1965 an alle Prüfinspektoren gerichteten Memorandum beseitigt. In diesem Memorandum wurde durch Festlegung von Grenzwerten und Testverfahren (bezüglich der Rauchemission von Diesel-Motoren) erstmals ein klares Entscheidungskriterium für eine eventuell vorliegende "Belästigung" und eine erforderliche Strafzahlung gegeben {1004}.

Damit könnte der Beginn der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für Kraftfahrzeuge auf den 1. Juni 1965 datiert werden. Es ist jedoch nicht sicher, ob die obengenannte Ausführungsbestimmung des Straßenverkehrsamtes verfassungsrechtlich abgesichert war. Erst in der Gesetzesvorlage Nr. 124/1968 wird eine entsprechende Verfassungsänderung vorgeschlagen und festgestellt, daß vor dem 01.01.1968 in Schweden keine Vorschriften bezüglich der Beschaffenheit und Ausrüstung von Fahrzeugen oder Motoren zum Zwecke der Emissionskontrolle existiert haben {1004}.

Die in den anschließenden Jahren erlassenen schwedischen Emissionskontrollgesetze basieren weitgehend auf Untersuchungen und Vorschlägen, die unter der Leitung einer Führungsgruppe des Verkehrsministeriums erarbeitet wurden. Zum Verständnis des Werdeganges der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung muß daher auf diese Führungsgruppe und ihre zur Gesetzesbildung herangezogenen Arbeiten näher eingegangen werden.

### 3.1 Die Führungsgruppe des Verkehrsministeriums

Am 19.11.1965 genehmigte der schwedische König dem Verkehrsminister, der "AB Atomenergi" in Studsvik den Auftrag zu einer Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Fahrzeugabgase zu erteilen, um wirksame Maßnahmen zur Senkung der schädlichen Verunreinigungen in den Fahrzeugabgasen einzuleiten und technische Unterlagen zur Erarbeitung der hierfür erforderlichen Gesetzgebung zu erhalten. Die Arbeit sollte innerhalb einer Zeitspanne von 5 Jahren beendet sein. Der Auftrag lief am 30.06.1970 aus {1017}.

Zur Bewältigung der gestellten Aufgabe wurde vom Verkehrsministerium eine Führungsgruppe etabliert, die sich aus sieben, vom Verkehrsministerium ausgesuchten Sachverständigen zusammensetzte, welche die Bereiche

- Staatliches Amt für Verkehrssicherheit (TSV)
- Arbeitsmedizinisches Institut
- Schwedischer Kraftfahrzeug-Industrie- und Kraftfahrzeug-Großhändler-Verband
- Staatliche Naturschutzbehörde
- Verkehrsministerium
- AB Atomenergi, Studsvik

repräsentieren.

Der Führungsgruppe stand eine Arbeitsgruppe zur Verfügung, die bei der "AB Atom-energi" in Studsvik plazierte war. Dort wurde aufgrund des obengenannten Regierungsauftrages ein Labor eingerichtet, in dem Abgastests nach dem europäischen und amerikanischen Verfahren durchgeführt werden konnten. Gleichzeitig erfolgte der Aufbau zweier mobiler Labors zur Messung von Luftverunreinigungen in Straßen, wobei sich derartige Messungen hauptsächlich auf das Gebiet von Stockholm konzentrierten. Darüber hinaus bediente man sich ebenfalls verschiedener Institutionen und Industriestellen bei der Aufgabenbewältigung. Die Führungsgruppe war das Planungs- und Führungsorgan dieser Entwicklungsarbeit, während die Arbeitsgruppe das ausführende Organ darstellte. Die Tätigkeit beider Gruppen begann am 1.1.1966 [1017, 1018] (gemäß Auftrag vom 24.11.1965 des dafür vom König am 19.11.1965 bevollmächtigten Verkehrsministers).

Die Führungsgruppe veröffentlichte innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens kontinuierliche Berichte über durchgeführte Untersuchungen und Arbeiten, die zu Hauptthemen der geplanten schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung entsprechende Vorschläge enthielten. Diese Vorschläge basierten auf Erkenntnissen aus eigenen Arbeiten (z.B. in Studsvik) sowie aus Sichtung und Bewertung bereits vorhandener Ergebnisse bei der Begrenzung der Schadstoff-Emissionen im Automobilabgas in anderen

Bericht	Quelle	Datum	Thema	Vorschlag der Führungsgruppe	Führt zum Gesetz	Einsatz
—	[1021]	31. 3. 1967	Emissionen aus dem Kurbelgehäuse	Otto-Motoren: Geschlossenes System einführen (so schnell wie möglich) Diesel-Motoren: Keine Maßnahmen erforderlich	F12-1968 —	1. 1. 1969 —
K 1967 : 8	[1013]	22. 9. 1967	Abgase von Fahrzeugen mit Diesel-Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rauchdichtebegrenzung (alte und neue Fzge.)</li> <li>- Plombierung der Einspritzpumpe</li> <li>- Konstruktion der Einspritzpumpe soll Vollastverstellmöglichkeit erschweren</li> <li>- Kaltstartvorrichtung darf nur im Startvorgang betreibbar sein</li> </ul>	F19-1969	1. 7. 1970
K 1968 : 2	[1017]	4. 4. 1968	Abgase von Fahrzeugen mit Otto-Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begrenzung der maximalen (d. h. von jedem Serienfahrzeug einzuhaltenden) HC- und CO-Emissionen</li> <li>- Begrenzung des Leerlauf-CO-Gehaltes von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen</li> <li>- Reduzierung des Bleigehaltes im Kraftstoff</li> </ul>	F23-1969	1. 7. 1970  1. 1. 1970
K 1969 : 8 (Ergänzung zu K 1968 : 2)	[1022]	April 1969	Kontrolle des Leerlauf-CO-Gehaltes in den Abgasen älterer Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untermauerung des in [1017] genannten Vorschlags, Zuschlag beim CO-Grenzwert und Akzeptierung der Laufgrenze des Motors</li> <li>- Diskussion von Verstellicherungen</li> </ul>	Ergänzung zu F23-1969	1. 7. 1970
K 1970 : 1	[1023]	15. 4. 1970	Verbesserte Kontrollmaßnahmen für PKW mit Otto-Motor ab Modelljahr 1971	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einrichtung laufender Abgaskontrolle ist erforderlich (z. B. periodische Inspektionen)</li> <li>- Vereinfachte Methoden als Ersatz der gesamten ECE-Prüfung scheiden wegen zu hohen Aufwandes und fehlender Korrelation aus (Kurztests)</li> <li>- Als praktikabel wird routinemäßige Leerlauf-CO-Überprüfung angesehen und vorgeschlagen</li> </ul>	F26-1971	1. 7. 1971
K 1971 : 1	[1019]	15. 4. 1971	Luftverunreinigung durch Motorfahrzeuge: Verschärfung der Emissionskontrollgesetzgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1. Verschärfungsstufe der HC- und CO-Grenzwerte für die Modelljahre 1974 bis 1976</li> <li>- 2. Verschärfungsstufe der HC- und CO-Grenzwerte für Fzge. ab Modelljahr 1977</li> <li>- Einführung Verdunstungskontrollsystem **</li> <li>- Ab 1977 bleifreier Kraftstoff befürwortet</li> <li>- Dauerhaltbarkeitsnachweis der Abgasreinigungssysteme sollte gefordert werden</li> <li>- Service muß verbessert werden</li> <li>- Regierung soll Überlegungen anstellen für: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Überwachung von Fzgn. im Verkehr</li> <li>● Serienkontrolle</li> <li>● Standard-Verschärfung: Otto- und Diesel-Motoren</li> <li>● Standard-Verschärfung: Fzge. mit Otto-Motoren vor 1970</li> <li>● Geruch von Fzg.-Emissionen</li> </ul> </li> </ul>	F40-1974	1. 7. 1973  ** Vorschlag nicht ins Gesetz übernommen. Schweden hat bis heute keine Gesetzgebung betreffend Verdunstungs-Emissionen

**Bild VI.3-1:** Berichte der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums, die Grundlage der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für PKW wurden, nach [1013, 1017, 1019 bis 1023].

Ländern. Hierbei waren die Vorgänge in den USA zwar richtungsweisend, jedoch wurden auch die Diskussionen innerhalb der ECE berücksichtigt, an denen Schweden teilnahm {1019}. In Bild VI.3-1 sind diejenigen Berichte der Führungsgruppe zusammengefaßt, die als Meilensteine bei der Entwicklung der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung anzusehen sind und die nachfolgend einzeln näher betrachtet werden.

### 3.2 Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse

Am 31.03.1967 veröffentlichte die Führungsgruppe des Verkehrsministeriums eine Untersuchung mit Vorschlägen für zu treffende Maßnahmen bezüglich einer Begrenzung der Emissionen aus dem Kurbelgehäuse von Kraftfahrzeugmotoren {1020}. Der Bericht stellte fest, daß durch die Installation einer geschlossenen Kurbelgehäuseentlüftung die Emissionen aus dieser Quelle gänzlich ausgeschaltet werden können. Obwohl hierdurch zwar nur eine Verringerung der Gesamt-CO-Emission von 0,1 bis 1 % erwartet wurde, hoffte man die Gesamt-HC-Emission eines Motors um 15 bis 30 % senken zu können. In bezug auf die Verringerung des HC-Wertes hätte man damit also 30 bis 65 % des Wertes erreicht, der durch eine wirkungsvolle Abgasreinigung (mit einer angenommenen HC-Senkung von 40 bis 50 %) erzielt werden kann {1024}.

#### 3.2.1 Vorschläge der Führungsgruppe

Aus diesem Grund empfahl die Führungsgruppe, Bestimmungen über die künftige Ausrüstung und Beschaffenheit von Otto-Motoren derart zu erlassen, daß keine Gase aus dem Kurbelgehäuse des Motors mehr in die Umgebungsluft entweichen könnten (bezüglich Diesel-Motoren sah die Führungsgruppe keinen Grund, entsprechende Vorschriften vorzuschlagen) {1025}.

#### 3.2.2 Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe

Die von der Führungsgruppe zum Thema der Schadstoffemissionen aus dem Kurbelgehäuse vorgetragenen Überlegungen hatten das Gesetz F 12-1968 zur Folge. Nach dieser Vorschrift mußten Otto-Motoren ab Baujahr 1969 (d. h. ab 01.01.1969) so beschaffen sein, daß aus dem Kurbelgehäuse keine Gase mehr ins Freie gelangen können.

### 3.3 Begrenzung der Schadstoffemissionen aus Diesel-Motoren

Im Herbst 1967 veröffentlichte die Führungsgruppe einen Bericht zum Thema "Dieselabgase" {1013}. Der Bericht behandelte die Emissionen des Diesel-Motors und schlug vorbeugende gesetzliche Maßnahmen gegen Belastungen oder Belästigungen durch die aus dieser Quelle stammenden Emissionen vor.

#### 3.3.1 Vorschläge der Führungsgruppe

Die Führungsgruppe stellte zunächst - bezogen auf den Berichtszeitraum - für die schwedische "Dieselsituation" folgendes fest {1026}:

- Dieselabgasen kann derzeit keine direkte Gesundheitsgefährdung zugeschrieben werden, Dieselabgase können jedoch durch ihre Rauchentwicklung belästigend wirken.

- Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen sowie Emissionen aus dem Kurbelgehäuse des Diesel-Motors sind so gering, daß sie keiner gesetzlichen Begrenzung bedürfen.
- Stickoxide können bei den derzeit verwendeten Diesel-Motoren nicht in technisch/wirtschaftlichem Maß verringert werden.

Die belästigenden Rauchemissionen des Diesel-Motors wurden trotz der sonstigen Unbedenklichkeits-Aussagen der Führungsgruppe zu den übrigen dieselmotorischen Emissionen als ausreichender Anlaß angesehen, gesetzgeberische Aktivitäten vorzuschlagen. Hierbei dachte man weniger an eine Verschärfung der Vorschriften für Neufahrzeuge, deren Rauchemissionen bereits vom Hersteller und dann auch noch bei Typ- und Registrierungsbesichtigungen (siehe dazu auch Teil VII, Kap. 2) genau kontrolliert wurden, sondern vor allem an Möglichkeiten, wie später erfolgende schlechte Wartung oder unerlaubte Eingriffe möglichst vermieden werden könnten. Da Einspritzpumpenverstellungen auf höhere als die vom Hersteller serienmäßig vorgesehene Einspritzmenge durchaus noch bis zu 10 % Leistungsgewinn bringen können, wurden derartige Eingriffe - die jedoch ein erhebliches Mehr an Rauchemissionen mit sich brachten - in der Praxis recht häufig durchgeführt {1026}.

Der Automobilindustrie sollte ausreichend Zeit zum Anpassen der Produktion an die neuen Vorschriften gegeben werden, und das Einsatzdatum dieser Regelungen sollte - mit Rücksicht auf ausländische Hersteller(!) - nicht vor dem 01.01.1969 liegen {1027}.

### 3.3.2 Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe

Die von der Gruppe gemachten Vorschläge führten zu folgenden gesetzlichen Vorschriften:

- Ausführungsbestimmungen zur Messung der Rauchdichte im Zusammenhang mit den Vorschriften zur Einspritzpumpenplombierung und zur Nachkontrolle von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen (Gesetz F 19-1969)
- Vorschriften über die Ausführung von Plombierungen der Einspritzpumpe (Gesetz F 20-1969)
- Vorschriften über die Ausführung der Kaltstartvorrichtung (Gesetz F 25-1970)

Die darüber hinaus von der Führungsgruppe vorgeschlagenen Konstruktionsauflagen für die Einspritzpumpe bezüglich erswerter Vollastverstellbarkeit wurden nicht Gesetz.

### 3.4 Begrenzung der HC- und CO-Emissionen von Fahrzeugen mit Otto-Motor

Die Führungsgruppe nahm zu den Auspuffemissionen von benzinbetriebenen Fahrzeugen zu einem Zeitpunkt Stellung, zu dem die entsprechenden Arbeiten innerhalb der ECE bereits zu einer Einigung über das den Mitgliedsstaaten vorzuschlagende Prüfverfahren sowie über den zu verwendenden Fahrzyklus geführt hatten und erste Diskussionen über Grenzwertvorstellungen kurz bevorstanden {1028}.

Unabhängig von den ECE-Arbeiten zum letztgenannten Punkt schlug die Führungsgruppe

schon eigene schwedische Grenzwerte für HC und CO mit der Begründung vor, daß dadurch die in den USA bereits geleisteten Arbeiten den schwedischen Luftreinhaltebemühungen möglichst bald zugute kommen sollten. Es wurde jedoch betont, daß Schweden sich in den hauptsächlichen Teilen der Emissionskontrollgesetzgebung an die künftigen ECE-Empfehlungen halten sollte, da gemeinsame europäische Bestimmungen sowohl den kontrollierenden Behörden wie auch der Automobil-Industrie Rationalisierungsgewinne bringen würden {1028}.

### 3.4.1 Das 3-Stufen-Programm zur Begrenzung der Schadstoffemissionen aus dem Auspuff

Ausgehend von der damals noch vorherrschenden Philosophie, daß die Emissionskontrollbestimmungen allmählich im Gleichklang mit dem Fortschritt der entsprechenden technischen Entwicklungen verschärft werden sollten, schlug die Führungsgruppe ein 3-Stufen-Programm zur HC- und CO-Emissionsabsenkung vor und fügte diesem Programm entsprechende Kostenbetrachtungen bei {1029}.

Bezüglich einer CO-Kontrolle hielt man es in der *ersten Stufe* für erforderlich, daß die in Schweden zugelassenen Fahrzeuge den gleichen Reinigungsgrad aufwiesen wie USA-Fahrzeuge des Modelljahres 1968 {1030}. Da etwa 50 % der 1968 in Schweden verkauften Fahrzeuge in abgasgereinigter Ausführung auch in die USA exportiert wurden, nahm man an, daß es den europäischen Automobilherstellern nicht schwer fallen würde, auch eine entsprechende schwedische Vorschrift zu erfüllen. Es wurde durch diese Vorschrift eine 40prozentige CO-Reduzierung gegenüber ungereinigten Fahrzeugen im ECE-Test erwartet {1030}.

Bezüglich der HC-Emissionen hielt die Führungsgruppe ein den USA-Vorstellungen entsprechendes Absenkungsniveau in Schweden nicht für erforderlich. Beim ersten Schritt zu einer schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung wollte man ein HC-Niveau akzeptieren, das 50 % über dem beim ECE-Test eines 1968er US-Systems erreichten Niveau lag. Als Grenzen wurden für diese erste Stufe Maximalwerte von 45 g CO/km und 2.2 g HC/km vorgeschlagen, wobei man von im Mittel eingehaltenen Werten von 30 g CO/km und 1.5 g HC/km ausging {1030, 1031}.

Alternative	Grenzwerte im ECE-Test [g/km]				Ungefähre Absenkung [%]	
	CO Mittel <sup>1)</sup>	CO Max. <sup>2)</sup>	HC Mittel <sup>1)</sup>	HC Max. <sup>2)</sup>	CO	HC
1 <sup>3)</sup>	30	45	1,5	2,2	40	40
2	20	30	1,2	1,8	60	50
3	15	23	1,0	1,5	70	60

<sup>1)</sup> aus Max.-Wert unter Verwendung eines empirischen Divisors von 1,5 rückgerechnet  
<sup>2)</sup> von jedem Fahrzeug der Produktion einzuhalten  
<sup>3)</sup> von der Führungsgruppe als erster Schritt zu CO- und HC-Begrenzung empfohlen

In der *zweiten Stufe*, deren Einsatz gemäß dem technischen Fortschritt geplant war, sollte ein CO-Niveau erreicht werden, das 1970er US-Systeme im ECE-Test zeigten. Die HC-Grenzwerte durften hierbei noch 25 % höher liegen als das von einem 1968er US-System im ECE-Test erreichte Niveau. Gegenüber ungereinigten Fahrzeugen erwartete man durch Stufe 2 eine CO-Absenkung um 60 % und eine HC-Verbesserung um 50 % {1030}.

**Bild VI.3-2:** Erste Vorschläge der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums (1968) für schwedische Emissionsgrenzwerte im ECE-Test und angestrebte Schadstoffverringerraten bezogen auf ungereinigte Fahrzeuge, nach [1031].



Alternative	Beispiele für motortechnische Maßnahmen
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderungen am Vergaser- und Ansaugsystem</li> <li>- Verbesserung der Kraftstoffverteilung</li> <li>- Verschärfte Herstellungsgenauigkeit der Bauteile</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In wesentlichen Teilen neue Vergaserkonstruktionen mit Kompensationsvorrichtungen für Temperatur und Luftdruck</li> <li>- Stark verschärfte Herstellungsgenauigkeit der Bauteile</li> <li>- Maßnahmen zur Verringerung des Ansaugunterdrucks im Schiebetrieb des Motor („dashpot“)</li> <li>- Besondere Maßnahmen zur Zündzeitpunktverstellung</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wie Alternative 2, jedoch mit zusätzlich verbesserter Vergaserfunktion oder mit Benzineinspritzanlage</li> </ul>

**Bild VI.3-3:** Motortechnische Maßnahmen, die zur Erfüllung des von der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums vorgeschlagenen 3-Stufen-Plans zur Senkung der Schadstoffemissionen von Automobilen als erforderlich angesehen wurden, [1032].

Alternative	Geschätzte Mehrkosten *) für neues Fahrzeug [Skr.]	Geschätzte Mehrkosten *) für erhöhte Wartung [Skr./Jahr]
1	300	55
2	400	85
3	700	110

\*) Durchschnittswerte, basierend auf Berechnungen von Herstellern von drei in Schweden üblich vorkommenden Fabrikaten. 1 Skr. (1968)  $\approx$  0,77 DM.

**Bild VI. 3-4:** Wirtschaftliche Folgen des von der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums vorgeschlagenen 3-Stufen-Plans zur Senkung der Schadstoffemissionen von Automobilen, [1033].

- das zeitliche Programm für die Durchführung der abgasreinigenden Maßnahmen gemäß den drei Vorschlägen stark davon abhängen sollte, in welcher Zeit die Automobilhersteller ihre Produktion an die Bestimmungen anpassen konnten [1032], und daß
- die vom Luftreinhaltungsgesichtspunkt betrachtet am geringsten entwickelten Automodelle berücksichtigt werden müßten, wenn die Maßnahmen für alle neuen Fahrzeuge von einem bestimmten Termin an obligatorisch sein sollten [1032].

Eine Kostenabschätzung für die drei Stufen ist zusammengefaßt in Bild IV.3-4 und detailliert in Bild VI.3-5 wiedergegeben.

### 3.4.2 Sonstige Vorschläge der Führungsgruppe

Außer bezüglich der obengenannten Schadstoffemissionssenkung machte die Führungsgruppe zu weiteren relevanten Punkten Vorschläge. Diese Vorschläge sind in ihren wesentlichen Aussagen in Bild VI.3-6 zusammengefaßt.

### 3.4.3 Erwartete Auswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen

Die nach Durchsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen erwarteten Verringerungen der CO- und HC-Emissionen sind in Bild VI.3-7 dargestellt. Wie der linke Bildteil zeigt,

In der *dritten Stufe* wurde eine um 25 % niedrigere CO-Emission gefordert als ein 1970er US-System im ECE-Test erreichte. Das HC-Niveau sollte dem eines 1968er US-Abgasreinigungssystems im ECE-Test entsprechen. Gegenüber unge-reinigten Fahrzeugen wurden damit eine CO-Absenkung um 70 % und eine HC-Verbesserung von 60 % erwartet [1031]. Die Absenkungsraten der HC- und CO-Emissionen mit den dazugehörenden Mittel- und Maximalwerten (Typprüf- und Serien-grenzwerten) sind in Bild IV.3-2 für die drei Stufen zusammengefaßt. Bild VI.3-3 zeigt, welche motorischen Maßnahmen die Führungsgruppe für erforderlich hielt, um die drei Schritte zu realisieren.

Bemerkenswert bei der Abgrenzung des terminlichen Rahmens für die Einführung der Verschärfungsstufen per Gesetz sind die damaligen Auffassungen der Führungsgruppe, wonach:

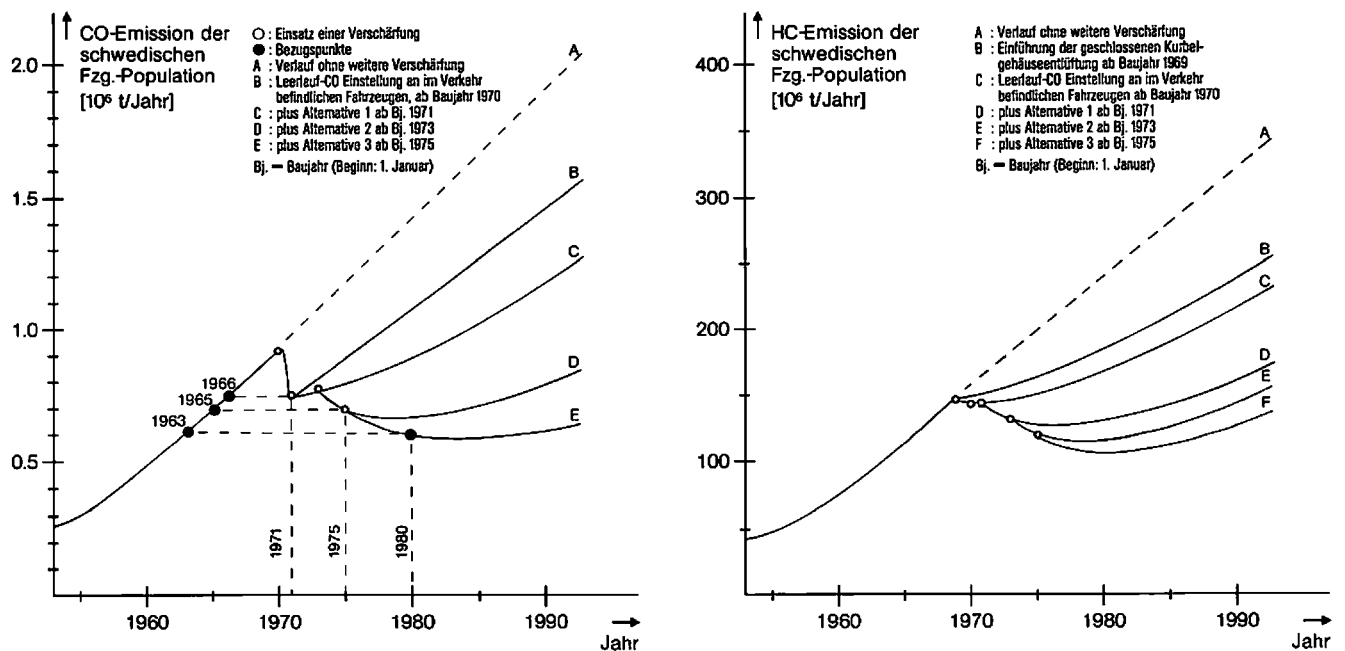
Kostenangaben x 10 <sup>6</sup> [Skr]	1971 <sup>1)</sup>	1972	1973 <sup>2)</sup>	1974	1975 <sup>3)</sup>	1976
Anzahl der pro Jahr neu zugelassenen PKW (in 10 <sup>3</sup> Einheiten) <sup>b)</sup>	348	360	372	382	392	400
Anzahl der Fahrzeuge ohne Abgasreinigungssystem (in 10 <sup>6</sup> Einheiten)	2,23	2,00	1,75	1,50	1,23	0,97
Kosten <sup>a)</sup> der Abgasreinigungssysteme bei Modellen des Baujahres 1971 <sup>c)</sup>	105	110	150	155	275	280
Wartungskosten für abgasgereinigte Fahrzeuge jährlich <sup>d)</sup>	19	39	71	104	147	191
Kosten für jährliche Vergasereinstellung am vorhandenen Fahrzeugpark <sup>e)</sup>	45	40	35	30	25	19
Kosten für jährliche Kontrolle der abgasgereinigten Fahrzeuge <sup>f)</sup>	–	–	–	4	4	7
Kosten für jährliche Abgaskontrolle des vorhandenen Fahrzeugparks <sup>g)</sup>	22	20	18	15	12	10
Jährliche Einsparung durch geringeren Kraftstoffverbrauch der abgasgereinigten Fahrzeuge <sup>h)</sup>	26	53	81	110	139	169
Jährliche Einsparung durch geringeren Kraftstoffverbrauch beim vorhandenen Fzg.-Park infolge Vergasereinstellung <sup>i)</sup>	89	80	70	60	49	39
Jährliche Kosten für Fzge. mit Abgasreinigungssystem (in 10 <sup>6</sup> Skr.) <sup>k)</sup>	98	96	140	153	287	309
Jährliche Kosten für Fzge. ohne Abgasreinigungssystem <sup>k)</sup>	– 22	– 20	– 17	– 15	– 12	– 10
Summe der jährlichen Kosten für den von der Führungsgruppe vorgeschlagenen 3-Stufenplan	75	75	120	140	280	300

1) 2) 3) = Einsatz von Alternative 1, 2 oder 3 des Vorschlags der Führungsgruppe.  
 a) die angegebenen Kosten basieren auf dem Preisniveau von 1968 (Angaben in 10<sup>6</sup> Skr.; 1 Skr. ≈ 0,77 DM)  
 b) die jährlichen Neuzulassungen basieren auf einer Prognose von Gustav Endrédi (Bilprognos för 1975 och bilförsäljningen 1964 – 1967, Motorbranschen 28 Nr. 10, sid. 618, 1967)  
 c) Kosten der Abgasreinigungssysteme: 1971/72 = 300 Skr., 1973/74 = 400 Skr., 1975/76 = 700 Skr.  
 d) Wartungskosten pro Fzg. jährlich: 1971/72 = 55 Skr., 1973/74 = 85 Skr., 1975/76 = 110 Skr.  
 e) Kosten für Vergasereinstellung à 20 Skr./Fzg. und Jahr.  
 f) Kontrollkosten bei jährlicher Kontrollbesichtigung für 3 Jahre alte Fahrzeuge 1974/75 = 10 Skr., 1976 = 20 Skr.  
 g) Kontrollkosten bei jährlicher Kontrollbesichtigung à 10 Skr./Fzg.  
 h) Im Durchschnitt 5% geringerer Kraftstoffverbrauch, das entspricht etwa 75 Skr./Fzg. und Jahr.  
 i) Im Durchschnitt 3% geringerer Kraftstoffverbrauch, das entspricht etwa 40 Skr./Fzg. und Jahr.  
 k) Entspricht der Summe der jährlichen Kosten abzüglich Einsparungen durch geringeren Kraftstoffverbrauch.

**Bild VI.3–5:** Geschätzte jährliche Kostenzusammensetzung bei Durchführung des von der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums vorgeschlagenen 3-Stufen-Plans zur Senkung der Schadstoffemissionen von Automobilen, [1034].

Thema	Vorschlag der Führungsgruppe
Kontrolle von Verdunstungsemissionen	Wegen der klimatischen Bedingungen in Schweden nicht erforderlich. Mit Verdunstungs-Kontrollsystem werden Motorbetriebsstörungen erwartet.
Begrenzung des Leerlauf-CO-Gehaltes	Alle im Verkehr befindlichen Fahrzeuge sollen anlässlich der periodischen Inspektionen auf einen max. Leerlauf-CO-Wert von 4,5 Vol. % eingestellt werden.
Bleigehalt im Kraftstoff	Übergang auf Null-Bleigehalt erscheint wegen hoher Importabhängigkeit (≈ 50%) nicht sinnvoll. Ab 1. 1. 1971 sollte Bleigehalt alle 2 Jahre um 0,1 g/l gesenkt werden. Unterstützung dieses Zieles durch Besteuerung.
Abstellen von Motoren im Leerlauf	Wird wegen erwarteten Wiederstartschwierigkeiten abgelehnt. Hinweis auf Stockholmer Vorschrift, nach der Motoren nicht länger als 3 Minuten im Leerlauf betrieben werden dürfen.
Zertifikation	Im Rahmen der Zertifikation soll bei Typbesichtigungen eine Bescheinigung des Automobilherstellers als Erfüllungsnachweis für die bestehenden Emissionskontrollvorschriften ausreichen.

**Bild VI.3–6:** Vorschläge der Führungsgruppe zu emissionsrelevanten Themen anlässlich der ersten Empfehlungen zur HC- und CO-Kontrolle an PKW, nach [1036].



**Bild VI.3-7:** Erwartete Verbesserungen der CO- und HC-Emissionen bei Einführung verschiedener Emissions-Kontrollmaßnahmen, nach [1037].

hätte eine Durchführung der Vorschläge sowohl für den maximal zugelassenen Leerlauf-CO-Gehalt an bereits im Verkehr befindlichen Fahrzeugen (ab Baujahr 1970) wie auch für die Abgasreinigungsmaßnahmen der Stufe 1 (an neuen Fahrzeugen ab Baujahr 1971) bedeutet, daß die Gesamt-CO-Emission im Jahre 1971 etwa auf das Niveau des Jahres 1966 zurückgeführt worden wäre [1038].

Würde Stufe 2 für Fahrzeug-Modelle ab Baujahr 1973 eingeführt, so hätte das CO-Niveau von 1975 ungefähr wieder dem Niveau des Jahres 1965 entsprochen [1038]. Bei Einführung von Stufe 3 für Modelle ab Baujahr 1975 wäre zu Beginn der 80er Jahre etwa wieder das CO-Niveau von 1963 erreicht worden [1038].

Bezüglich der HC-Emissionen wird ein etwa gleichlautendes Ergebnis erwartet, wobei die Kohlenwasserstoffe teils durch Reinigung der Abgase, teils durch die ab Baujahr 1969 eingeführte geschlossene Kurbelgehäuseentlüftung reduziert wurden.

#### 3.4.4 Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe

Die vorgeschlagene Stufe 1 wurde mit den Grenzwerten (Max.-Werten) von 45 g CO/km und 2.2 g HC/km für Fahrzeuge ab Modelljahr 1971 gültig (Gesetz F 23-1969).

Zum Punkt der Kontrolle des Leerlauf-CO-Gehaltes von älteren Fahrzeugen verlangte der Verkehrsminister zunächst noch Untersuchungen über die Praktikabilität einer solchen Vorschrift. Die entsprechenden Arbeiten werden in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert.

Ab 01.01.1970 wurde der Bleigehalt im Kraftstoff auf 0,7 g/l begrenzt, was einer Reduzierung gegenüber dem ab 01.01.1964 zugelassenen Bleigehalt um 0.5 g/l bezüglich TML und 0.25 g/l bezüglich TEL entsprach.

### 3.5 Begrenzung und Kontrolle des Leerlauf-CO-Gehaltes in den Abgasen älterer Fahrzeuge

Wie schon in Kap. 3.4 erwähnt, befaßte sich die Führungsgruppe in {1017} erstmals mit dem Problem einer HC- und CO-Begrenzung im Automobilabgas sowie mit der Limitierung des Leerlauf-CO-Gehaltes im Abgas älterer Fahrzeuge. Dabei zeigte sich, daß eine genaue Justierung des Vergasers und der Zündausstattung die CO-Emission durchschnittlich um 20 % und die HC-Emission durchschnittlich um 7 % bezogen auf das ECE-Gesamttestergebnis verbesserte. Gleichzeitig wurde durch eine derartige genaue Einstellung während der Tests in Studsvik eine Absenkung des Leerlauf-CO-Gehaltes um durchschnittlich 40 % erzielt {1040}.

#### 3.5.1 Erster Vorschlag der Führungsgruppe

Die Gruppe schlug daher schnellstmöglichen Einsatz einer Leerlauf-CO-Begrenzung auf 4.5 Vol.-% für alle im Verkehr befindlichen Fahrzeuge vor, wobei den Werkstätten jedoch ausreichend Zeit zur Instrumentenbeschaffung und Personalausbildung gegeben werden sollte. Um Motorbetriebsstörungen (besonders bei älteren Fahrzeugen) zu vermeiden, sollte auch ein höherer CO-Gehalt zulässig sein, wenn anders keine akzeptablen Fahreigenschaften erreichbar wären {1040}.

In der Empfehlung Nr. 160 für den Herbstreichstag 1968 empfahl der Verkehrsminister, daß dieser Vorschlag durchgeführt werden sollte, sobald die Führungsgruppe mit der "AB Svensk Bilprovning" noch bestimmte zusätzliche Ermittlungen bezüglich der Durchführbarkeit dieser Verordnung abgeschlossen habe. Nach Zustimmung des Reichstags wurde am 13.12.1968 eine Verordnung über die Änderung der StVO (SFS 1968:726) sowie die Bekanntmachung über eine Vorrichtung zur Begrenzung der Luftverunreinigung aus Kraftfahrzeug-Motoren etc. (SFS 1968:728) ausgestellt und in § 3 der StVO eine entsprechende Vorschrift aufgenommen. Der Zeitpunkt zur gesetzlichen Anwendung dieser Vorschrift sollte noch festgelegt werden {1040}.

Aufgrund der Erfahrungen aus eigenen Untersuchungen in Studsvik sowie gleichsinnigen Erkenntnissen des Auslandes zögerte man jedoch, auch für ältere Fahrzeuge (d. h. für vor-1970-Modelle) einen maximal zulässigen Leerlauf-CO-Gehalt festzulegen. Da zahlreiche Faktoren einen Einfluß auf die Reproduzierbarkeit des Leerlauf-CO-Wertes ausüben, wurde die Frage gestellt, ob es überhaupt sinnvoll sei, für ältere Modelle eine solche Vorschrift zu erlassen. Man befürchtete, daß grobe Fertigungstoleranzen am Vergaser und an Einstellschrauben sowie Verschleiß und Spiel in den Lagerungen der Drosselklappe und des Gasgestänges kaum einen zufriedenstellenden Reproduzierbarkeitsgrad der eingestellten Werte ermöglichen würden {1043}.

#### 3.5.2 Probleme und Untersuchungen zur Leerlauf-CO-Einstellung

In der Diskussion über den obengenannten Vorschlag der Führungsgruppe hatte die "AB Svensk Bilprovning" auf einige Probleme hingewiesen, die während eigener Unter-

Fahrzeug-Nr.	Schwankungen des Leerlauf-CO-Wertes ohne Vergaserverstellung
1	2,8 bis 6,4 Vol.%
2	2,7 bis 4,0 Vol.%
3	2,7 bis 6,1 Vol.%

**Bild VI.3-8:** Schwankungen des Leerlauf-CO-Wertes an ungereinigten Fahrzeugen ohne Vergaserverstellung (20-Wagen-Studie der „AB Svensk Bilprovning“), nach [1044].

suchungen bei der Leerlauf-CO-Einstellung erkannt worden waren. So waren hier z. B. an 20 ungereinigten Fahrzeugen trotz großen Bemühens, die Randbedingungen (Außentemperatur, Motortemperatur, Drehzahl etc.) so konstant wie möglich zu halten, die in Bild VI.3-8 gezeigten Streubreiten im

Leerlauf-CO aufgetreten. Die "AB Svensk Bilprovning" hielt daher ein Verfahren, das ohne Veränderungen am Fahrzeug einmal zur Zulassung und das andere Mal zur Ablehnung dieses Fahrzeugs führen konnte, für nicht annehmbar [1044].

In einer weiteren Untersuchung der "AB Svensk Bilprovning" an 2.774 Fahrzeugen ergab sich ebenfalls, daß der CO-Gehalt stark variierte. Gut 50 % der Fahrzeuge wiesen Werte über 5 Vol.-% auf. Die "AB Svensk Bilprovning" forderte daher, daß bei der Festlegung eines maximal zulässigen Leerlauf-CO-Wertes auch Parameter wie z. B. Motordrehzahl und Motortemperatur mit zu spezifizieren seien [1045].

Tests in Studsvik an 19 Fahrzeugen im Oktober/November 1968, von denen 5 eine Vorrichtung zur Abgasreinigung hatten, zeigten, daß der Zusammenhang zwischen Motortemperatur und CO-Gehalt im Leerlauf bei fixierten Prüfbedingungen je Motor eindeutig war und kaum davon abhing, ob der Motor unter Belastung (ECE-Test) oder im Leerlauf warmlief. Bei  $\approx 60$  % der Prüfungen war der Leerlauf-CO-Wert nach Erreichen von 50 °C Motoröltemperatur, bei 30 % ab 60 °C und bei 10 % erst bei höheren Temperaturen stabil [1046]. Bei Motoröltemperaturen von durchschnittlich 80 °C ergab sich bei einer Änderung der Motordrehzahl von 700 auf 900 U/min bei allen 19 geprüften Fahrzeugen eine durchschnittliche Absenkung des Leerlauf-CO-Gehaltes von 5.5 auf etwa 3.5 Vol.-% [1047].

Bei alten Fahrzeugen mit Verschleißerscheinungen am Vergaser war eine reproduzierbare CO-Einstellung im Leerlauf nicht möglich [1048].

### 3.5.3 Ergänzende Vorschläge der Führungsgruppe

Die in Kap. 3.4.4 angesprochenen, vom Verkehrsminister gewünschten zusätzlichen Untersuchungen wurden in [1022] als Ergänzung zu [1017] veröffentlicht. Sie befaßten sich mit Themen, die im wesentlichen auf den praktischen Einsatz der vorgeschlagenen Leerlauf-CO-Kontrolle bei Prüfstationen ausgerichtet waren, wie z. B.:

- Einfluß von Wartezeiten im Freien
- Einfluß der Motoröltemperatur (Warmlauf)
- Probennahme (Sondenanbringung)
- Einfluß der Vorkonditionierung
- Wartung der Meßinstrumente

Abschließend meinte die Führungsgruppe, daß es - trotz aller gefundenen Probleme und zu beachtenden Randbedingungen - vom Luftreinhaltungsstandpunkt aus nicht versäumt werden sollte, auch ältere Fahrzeuge im Leerlauf-CO zu kontrollieren und zwar nach 2 neu überlegten Alternativen {1049}:

Bei der ersten Alternative sollte unter Beibehaltung des schon früher vorgeschlagenen Wertes von 4.5 Vol.-% auch ein höherer CO-Gehalt akzeptiert werden, wenn dieser der niedrigste war, bei dem noch keine Betriebsstörungen am Motor vorkamen (eine entsprechende Werkstattbestätigung mußte dann jedoch vorgelegt werden). Die Straßenverkehrsordnung, ältere Fahrzeuge betreffend, sollte diesbezüglich ergänzt werden. Bei der zweiten Alternative sollte es - da bei der erstgenannten Option Fahrzeugbesitzer vor Erscheinen bei einer Periodischen Inspektion in hohem Maße Werkstätten hätten in Anspruch nehmen müssen - möglich sein, daß die Vergasereinstellung während der Inspektion selbst erfolgen konnte (die Kontrollbesichtigung wird in Teil VII, Kap.2 näher erläutert).

Die Führungsgruppe schätzte, daß bei etwa 2/3 der Fahrzeuge, die bei solchen Inspektionen einen höheren Wert als 4.5 Vol.-% CO auswiesen, eine einfache Vergaserjustierung ausreichen würde, um die Emission auf das zugelassene Niveau zu verringern {1050}. Die letztgenannte Alternative würde den Autobesitzer von der Unannehmlichkeit eines nur wegen der CO-Einstellung erfolgenden Werkstattbesuches befreien. Gemäß "AB Svensk Bilprovning" war es möglich, derartige kleine Zusatzarbeiten im Prüfprogramm der Periodischen Inspektionen mit unterzubringen.

Wegen der Gefahr einer vom Fahrzeugbesitzer im Anschluß an die Motoreinstellung bei der Inspektion erfolgenden Rückverstellung wurden von der Führungsgruppe auch erstmals Verstell Sicherungen diskutiert.

#### 3.5.4 Wirtschaftliche Folgen der Vorschläge der Führungsgruppe

Der bei Realisierung obengenannter Vorschläge notwendig werdende Bedarf an Meßinstrumenten wurde für ganz Schweden auf 3.500 Stück geschätzt. Davon hätten die "AB Svensk Bilprovning" etwa 300 Stück und das TSV ungefähr 20 Stück benötigt. Die Preise pro Instrument schwankten zwischen 1.200 Skr. im Jahr 1969 (billigster Wärmestrommesser) bis zu 4.200 Skr. im Jahr 1969 (teuerstes Infrarotgerät). Die Ausrüstungskosten für alle schwedischen Werkstätten hätten damit zwischen 4.2 und  $14.7 \cdot 10^6$  Skr. betragen {1051}.

#### 3.5.5 Gesetzliche Folgen der Vorschläge der Führungsgruppe

Nachdem die in {1017} noch offen gebliebenen Fragen zu diesem Thema zwischen der Führungsgruppe und der "AB Svensk Bilprovning" geklärt und im Zusatzbericht {1022} abgehandelt worden waren, erfolgte eine Ergänzung zum Gesetz F 23-1969, wodurch ab 01.07.1970 für alle Fahrzeuge der Modelljahre 1970 oder früher der Leerlauf-CO-Ge-

halt auf maximal 4.5 Vol.-% oder auf den geringstmöglichen darüberliegenden Wert, bei dem der Motor noch "sauber läuft", begrenzt wurde.

### 3.6 Vorschriften zur Überwachung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen (Kurztests)

Am 15.04.1970 veröffentlichte die Führungsgruppe einen Bericht {1023}, in dem die Möglichkeiten für vereinfachte Verfahren zur Überprüfung von Kraftfahrzeugen im Verkehr diskutiert wurden. Anlaß zu den darin geschilderten Untersuchungen des Labors der "AB Atomenergi" in Studsvik war der Auftrag des Verkehrsministers, einfachere, d. h. schnellere und billigere Verfahren (als die ab Modelljahr 1971 gültige ECE-Typprüfung) zur Anwendung bei periodischen Inspektionen oder fliegenden Kontrollen zu entwickeln {1052}.

In Studsvik konzentrierten sich daher die Untersuchungen auf das Problem, einen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der vollständigen ECE-Prüfung und den Ergebnissen bei vereinfachten Methoden der Kontrolle zu finden. Durch die Untersuchungen von 77 mit Abgasreinigungssystemen ausgerüsteten Gebrauchtwagen wurde die Treffsicherheit bei der Beurteilung der Emissionen durch eine Prüfung mit solchen Kurz-Methoden untersucht {1053}.

Die sogenannte "vereinfachte ECE-Prüfung" führte dabei zu den relativ besten Resultaten. Diese Prüfung beinhaltete einen Abgastest nach dem ECE-Zyklus mit betriebswarmem Motor auf einem vereinfachten Rollenprüfstand. Im günstigsten Fall müßten bei dieser Prüfung nur 13 % der gesamten untersuchten Fahrzeuge falsch beurteilt werden {1053}. Die entscheidend einfachere Leerlaufprüfung würde bei der Messung von sowohl Kohlenmonoxid als auch Kohlenwasserstoffen 17 % Fehlteile und bei der Überprüfung von Kohlenmonoxid allein 21 % Fehlteile zur Folge haben. Eine Leerlaufüberprüfung mit ausschließlicher Messung des Kohlenmonoxidgehaltes bei einem festgesetzten Grenzwert von 4.5 Vol.-% CO hätte dagegen die geringste Anzahl an falsch beurteilten Fahrzeugen ergeben {1053}.

Keine der obengenannten Methoden (vereinfachte ECE-Prüfung auf dem Rollenprüfstand, Prüfung des CO- und HC-Gehaltes oder die ausschließliche Prüfung des CO-Gehaltes im Leerlauf bei gleichzeitig fest vorgegebenem Grenzwert) ermöglichte jedoch den gleichen Aufschluß über die Eigenschaften des Fahrzeuges im Hinblick auf seine Abgasemission, wie es bei einer vollständigen ECE-Prüfung der Fall war. Allerdings war es mit diesen einfachen Kontrollverfahren - ebenso wie mit dem Gesamttest - möglich, Fahrzeuge mit zu hohen Schadstoffen im Abgas zu ermitteln {1054}. Die Führungsgruppe folgerte daher, daß es - wenn eine laufende Abgaskontrolle der Fahrzeuge ab Baujahr 1971 durchführbar sein sollte - keine andere realistische Lösung gab, als für solche Prüfungen anstelle des vollständigen ECE-Tests eine Messung des CO-Gehaltes der Abgase im Leerlauf vorzuschreiben. Dieser Vorschlag wurde durchaus nicht als voll zufriedenstellende Lösung betrachtet, um die Verminderung des Schadstoffgehal-

tes der Abgase von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen sicherzustellen, er war nach dem Urteil der Führungsgruppe jedoch der einzige praktisch durchführbare Weg {1055}. Während der Studsvik-Arbeiten wurde außerdem die Bedeutung einer regelmäßigen Wartung an den Abgasreinigungssystemen untersucht. Dabei hatte sich gezeigt, daß eine unter dem Gesichtspunkt der Luftreinhaltung bedeutende Verbesserung erreicht werden konnte, indem entsprechende Wartungsmaßnahmen getroffen wurden. Man kam zu dem Urteil, daß eine genaue, regelmäßige Wartung der Abgasreinigungsanlagen an gebrauchten Fahrzeugen deren gesamten Kohlenmonoxidausstoß um 35 bis 40 % senken konnte {1056}. Aus diesem Ergebnis folgerte die Führungsgruppe, daß ein Ausbau der Wartungsorganisationen von größter Bedeutung sei, damit die Abgasreinigungssysteme auch nach der Inbetriebnahme und einer gewissen Gebrauchsdauer noch eine zufriedenstellende Leistung aufweisen. Sowohl den Fahrzeugherstellern als auch den Automobilwerkstätten wurde in diesem Zusammenhang eine besondere Verantwortung zuerkannt. Abschließend wollte die Führungsgruppe auch ein Instrument zur Beurteilung des Verhaltens der Abgasreinigungssysteme über der Fahrzeuglebensdauer schaffen und schlug dem staatlichen Verkehrssicherheitsamt vor, Normen für Langzeitprüfungen zu erstellen, damit gegen Fahrzeughersteller oder deren Niederlassungen vorgegangen werden könne, falls es sich herausstellen sollte, daß deren Abgasreinigungssysteme keine ausreichende Langzeitwirkung aufweisen {1057}.

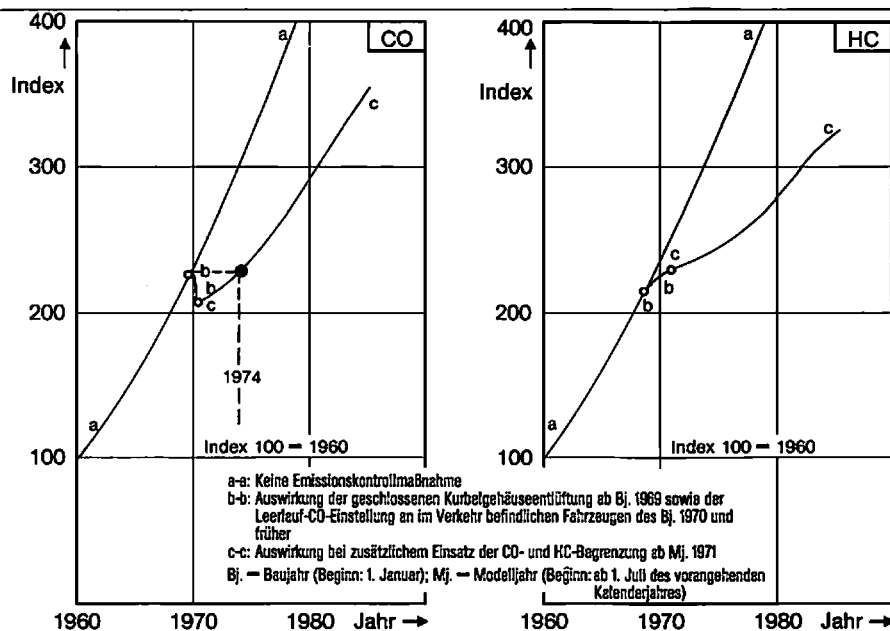
### 3.7 Verschärfung der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für Fahrzeuge mit Otto- und Diesel-Motoren

Am 15. April 1971 veröffentlichte die Führungsgruppe ihren Abschlußbericht {019} über das am 24.11.1965 durch den Leiter des Verkehrsministeriums initiierte 5jährige Entwicklungsprogramm zur Erfassung und Begrenzung der durch Automobilabgase vermuteten oder verursachten Luftqualitätsbeeinflussungen. Gegenüber den ursprünglichen Gedanken zur Einführung von Emissionsgrenzwerten oder sonstigen unterstützenden Maßnahmen zeigt sich in diesem Abschlußbericht bei den Mitgliedern der Führungsgruppe ein bedeutender Einstellungswandel. Aus den nachfolgend näher erläuterten Gründen wurde das bisher mehr bedächtige Vorgehen verlassen und auf eine offensivere Form der Empfehlungen zur Emissionskontrolle übergegangen.

#### 3.7.1 Vorschläge der Führungsgruppe für Fahrzeuge mit Otto-Motoren

Die Führungsgruppe erachtete die bisher ergriffenen Maßnahmen zur Emissionssenkung von CO und HC bei Fahrzeugen mit Otto-Motor, deren Auswirkungen in Bild VI.3-9 für größere Stadtgebiete von Stockholm, Göteborg und Malmö dargestellt sind, nicht als ausreichend, um den Effekt steigender Fahrzeugpopulation aufzufangen. So würden die erzielten CO-Verbesserungen bereits 1974 total neutralisiert und die Emissionen ohne den Einsatz zusätzlicher Gegenmaßnahmen weiterhin stark ansteigen. Eine ähnliche Situation zeigte sich bei der HC-Emission {1059}.





Wurden städte- und verkehrsplanerische Möglichkeiten im 1968er Bericht {017} lediglich angedeutet, so enthielt der 1971er Bericht {019} ganz klare Aussagen, daß erhebliche Verbesserungen der kraftfahrzeugbezogenen Emissionssituation durch derartige Planungen und Eingriffe erreicht werden können. Vor allem wurden folgende Möglichkeiten betont {1060}:

**Bild VI.3-9:** Aufgrund gesetzlich eingeführter Emissionskontrollmaßnahmen berechnete Veränderung der CO- und HC-Emission von Fahrzeugen mit Otto-Motor in den Städten: Stockholm, Göteborg und Malmö, nach [1058].

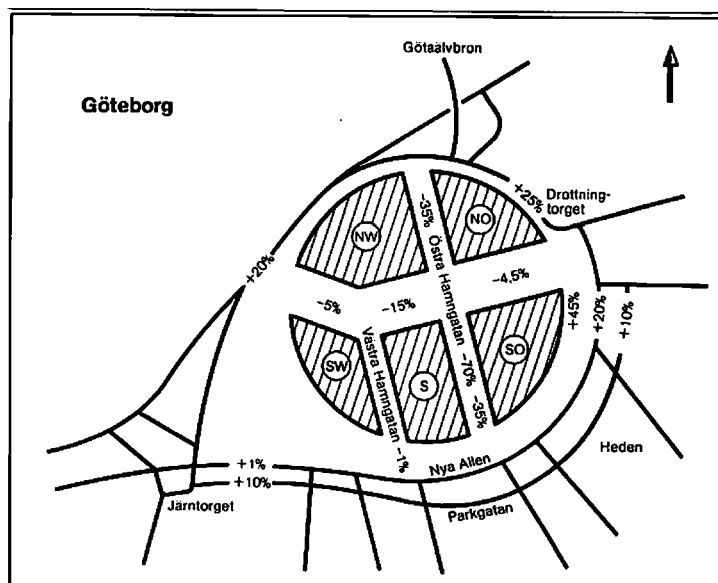
- Einführung von Verkehrs-zonen mit Vermeidung von Durchgangsverkehr in Innenstadtbereichen.
- Vorschriften über fahrzeugfreie Zonen sowie über die Trennung des Fußgänger- und Fahrradverkehrs vom Fahrzeugverkehr in Innenstädten und Vororten.

- Maßnahmen zur Förderung öffentlicher Verkehrssysteme.

Es wurde auf bereits erfolgreich durchgeführte Experimente in Göteborg und Stockholm hingewiesen, die in kurzer Zeit erhebliche Verbesserungen gebracht hatten {061}. Als Beispiel wurde eine 1970 in Göteborg praktizierte Lösung beschrieben. Durch Einrichtung einer Verkehrszone wurde die Innenstadt stark vom Durchgangsverkehr entlastet, der auf die bezüglich einer Belastung durch Schadstoffemissionen "unempfindlicheren" Randstraßen verlegt wurde. Bild VI.3-10 zeigt den Zustand 8 Wochen nach Einrichtung dieser Zonen: Auf der zuvor stark befahrenen Östra Hamngatan war der Spitzenverkehr zum Teil bis zu 70 % abgebaut, wodurch eine erhebliche Verbesserung der Luftqualität erreicht wurde.

Zum Erreichen einer akzeptablen Luftqualität wurde aber auch eine sukzessive Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für Automobile als notwendig erachtet. Hierbei galt es zu berücksichtigen, daß das Automobil einen internationalen Handelsgegenstand darstellt, und die Möglichkeiten eines schwedischen Alleingangs bei der Emissionskontrollgesetzgebung für Kraftfahrzeuge daher als begrenzt anzusehen und internationale Abstimmung der schwedischen Vorschriften zu befürworten waren {1062}.

Die naheliegende Übernahme der innerhalb der ECE - deren Mitgliedsstaaten für mehr als 60 % der Automobilproduktion Europas verantwortlich sind - erarbeiteten Regelungen wurde trotzdem abgelehnt. Die ECE-Regelung entsprach lediglich in der CO-Kon-



**Bild VI.3-10:** Veränderung der Verkehrsbelastung in der Innenstadt von Göteborg 8 Wochen nach Einrichtung von Verkehrszonen, nach [1065].

trolle, nicht jedoch hinsichtlich der HC-Begrenzung (die im 1968er Bericht noch als für Schweden nicht von Bedeutung eingestuft wurde!) den schwedischen Vorstellungen. Eine Übernahme der ECE-Regelungen würde daher für Schweden keinen Gewinn auf dem Luftreinhaltungssektor bringen. Diese Meinung der Führungsgruppe wurde unterstützt durch die Tatsache, daß zur Zeit der Erstellung dieses Abschlußberichts 1971 innerhalb der ECE noch keine Arbeiten zur weiteren Absenkung der R-15-Vorschriften begonnen und entsprechende Vorstöße

der schwedischen Vertreter keinerlei Erfolg gehabt hatten [1062].

Vor diesem Hintergrund empfahl die Führungsgruppe, die schwedischen Vorschriften auf das Niveau der bestehenden US-Vorschriften zu verschärfen. Dadurch glaubte man, in den Genuß der bestverfügbaren Abgasreinigungstechnologie zu kommen. Wenn man zusätzlich auch die damals in den USA noch für 1975/76 geplanten Regelungen übernehme, bestünde sogar die Chance, die Vorteile völlig neuer, zur Erfüllung dieser Gesetze noch zu entwickelnder Technologien zu erhalten. Durch Übernahme eines Einheitsgrenzwertes gemäß dem US-Gesetz glaubte man außerdem zu vermeiden, daß sich die Luftqualität durch einen Übergang zu größeren Fahrzeugen (denen laut ECE-Vorschriften höhere Grenzwerte zugestanden wurden) verschlechterte [1062].

Als Schweden ursprünglich die ECE-Regelungen übernommen hatte, hielt man den darin enthaltenen europäischen Fahrzyklus noch für eine angemessenere Darstellung europäischer Fahrbedingungen als den damals in den USA gültigen Kalifornien 7-mode-Zyklus. Den ab 1972 in den USA praktizierten LA-4-Zyklus sah man dagegen jedoch als repräsentativer für Fahrgewohnheiten in europäischen Städten an, als den ECE-Zyklus, weshalb auch aus diesem Grunde eine Übernahme der US-Regelungen empfohlen wurde [1063].

Rückblickend stellte die Führungsgruppe fest, daß die in ihrem 1968er Bericht [1017] vorgeschlagenen drei Verschärfungsstufen zu keinen entsprechenden gesetzlichen Vorschriften geführt hatten und schlug abermals einen - geänderten - Plan zur stufenweisen Verschärfung der Standards vor [1064]:

- Für Fahrzeuge der Modelljahre 1974 bis 1976 sollten die 1973er US-Bestimmungen übernommen werden (39.0 g CO/m  $\hat{=}$  24.2 g CO/km; 3.4 g HC/m  $\hat{=}$  2.1 g HC/km mit HC als Methan gemessen; 3.0 g NO<sub>x</sub>/m  $\hat{=}$  1.9 g NO<sub>x</sub>/km; 2 g HC/Test Verdunstungsemission).

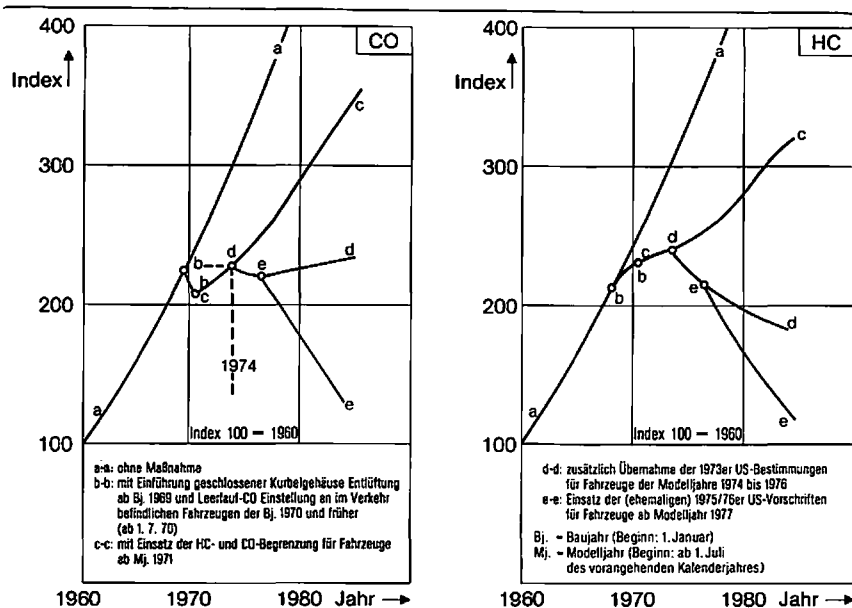
- Für Fahrzeuge ab Modelljahr 1977 sollten die damals noch für 1975/76 geplanten US-Regelungen Anwendung finden ( $4.7 \text{ g CO/m} \approx 2.42 \text{ g CO/km}$ ;  $0.46 \text{ g HC/m} \approx 0.29 \text{ g HC/km}$ ;  $0.4 \text{ g NO}_x/\text{m} \approx 0.25 \text{ g NO}_x/\text{km}$ ).

Bei Realisierung dieser Vorschriften würden sich die ab 1971 gültigen schwedischen Gesetze alle 3 Jahre verschärfen und ab Modelljahr 1974 auch Vorschriften zur Begrenzung der Verdunstungsemissionen sowie der  $\text{NO}_x$ -Emissionen gültig werden. Das noch 1968 [1017] für schwedische Verhältnisse als nicht relevant bezeichnete Verdunstungsproblem wurde damit aus geruchs- und medizinischen Gründen (Zusammenwirken mit Stickoxiden) nunmehr doch als bedeutend klassifiziert.

Gegenüber ungereinigten Fahrzeugen bedeuteten die neuen Vorschläge bezogen auf Fahrzeuge der Modelljahre 1974 bis 1975 eine CO-Verringerung um 60 bis 70 %, eine HC-Verringerung um 70 bis 80 % und eine  $\text{NO}_x$ -Senkung um 40 bis 50 % [1064].

### 3.7.2 Erwartete Auswirkungen der Empfehlungen der Führungsgruppe

Die bei Durchsetzung der vorgeschlagenen Verschärfungsstufen der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung erwarteten Veränderungen der HC- und CO-Emissionen in Stockholm, Göteborg und Malmö sind in Bild VI.3-11 dargestellt. Die Gesamtemission

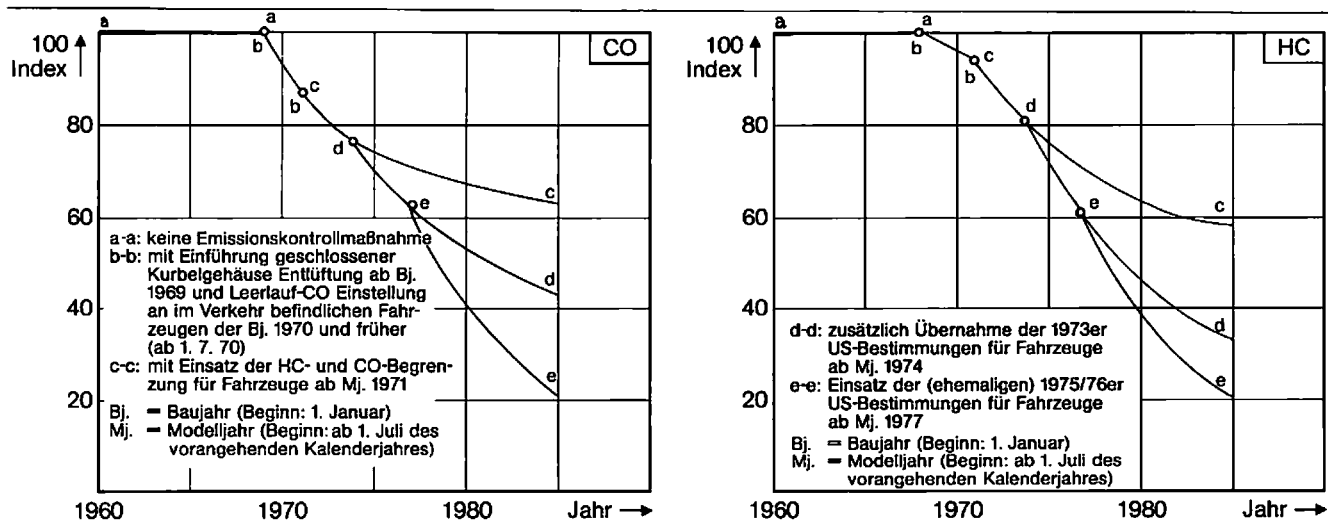


**Bild VI.3-11:** Erwartete Verbesserungen der CO- und HC-Emissionen von Fahrzeugen mit Otto-Motor in den Städten: Stockholm, Göteborg und Malmö bei Einsatz der 1971 von der Führungsgruppe vorgeschlagenen Verschärfungen der Emissionskontrollgesetzgebung, nach [1065].

von CO würde in den Jahren nach Einsatz der Vorschriften leicht sinken, dann aber - wegen der ansteigenden Fahrzeugpopulation - nach einigen Jahren wieder ansteigen. Dieser Anstieg wäre jedoch flacher als wenn keine Verschärfung der Vorschriften eingesetzt hätte. Die HC-Emissionen würden erheblich gesenkt. Die erwarteten relativen

Verbesserungen an einem mittleren Fahrzeug sind in Bild VI.3-12 dargestellt.

Die bis dahin verordneten Maßnahmen hätten die CO- und HC-Emissionen eines mittleren Fahrzeuges bis 1973 nur um  $\approx 25 \%$  und bis 1985 um  $\approx 40 \%$  gesenkt. Die jetzt für Fahrzeuge der Modelljahre 1974 bis 1976 vorgeschlagenen Maßnahmen hätten (falls sie auch für 1977 und spätere Modelljahre angewendet würden) zur Folge, daß die Emissionen eines mittleren Fahrzeuges (bezogen auf ungereinigte Fahrzeuge) im CO bis 1985 um fast 60 % und im HC um fast 70 % gesenkt werden könnten. Bild VI.3-12 zeigt eben-



**Bild VI.3-12:** Berechnete Absenkung der CO- und HC-Emissionen eines mittleren Fahrzeugs bei Einsatz verschiedener Emissionskontrollmaßnahmen, nach [1066].

falls, daß die CO- und HC-Emissionen eines mittleren Fahrzeugs bis 1985 um 85 % absinken würden, wenn ab Modelljahr 1977 die geplanten 1975/76er US-Bestimmungen angewendet würden [1067].

Da die für Fahrzeuge der Modelljahre 1974 bis 1976 vorgeschlagenen Reduktionsstufen neue Technologien erfordern würden, rechnete die Führungsgruppe mit Anschaffungspreiserhöhungen des Neufahrzeugs durch Emissionskontrollanlagen in Höhe von  $\approx 400$  bis 500 Skr. sowie zusätzlicher Erhöhung der Wartungs- und Betriebskosten. Die Führungsgruppe erkannte ebenfalls, daß die Übernahme der US-Systeme auch technische Probleme (Leistungsverlust der Motoren) mit sich bringen und wegen solcher Hersteller, die nicht in die USA exportieren - und folglich auch nicht wie andere Hersteller auf entsprechende Abgasreinigungstechnologien für den Einsatz in Schweden zurückgreifen konnten - zu handelspolitischen Konsequenzen führen würde [1068].

Kurvenabschnitt e-e in Bild VI.3-11 zeigt den Einfluß der für Schweden ab Modelljahr 1977 vorgeschlagenen 1975/76er US-Bestimmungen (die zu diesem Zeitpunkt lediglich als angestrebte prozentuale Reduktionsraten existierten) auf die Gesamtemission von CO und HC in Stadtgebieten. Im Jahre 1985 wäre damit ein Luftqualitätsniveau erreicht worden, das wieder den Anfängen der 60er Jahre entsprochen hätte. Kostenschätzungen für ein solches Abgasreinigungssystem beliefen sich auf  $\approx 1000$  Skr/Fahrzeug mit zusätzlichen jährlichen Unterhaltungskosten von  $\approx 200$  Skr/Fahrzeug [1069].

### 3.7.3 Vorschläge der Führungsgruppe für Fahrzeuge mit Diesel-Motoren

Die Führungsgruppe hielt zu jener Zeit eine Verschärfung der für Kraftfahrzeuge mit Diesel-Motoren gültigen Vorschriften nicht für erforderlich. Das Thema sollte jedoch weiter untersucht und internationale Entwicklungen beobachtet werden [1070].

### 3.7.4 Sonstige Vorschläge der Führungsgruppe

Weitere Vorschläge der Führungsgruppe sind in Bild VI.3-13 zusammengefaßt. Hierbei ist besonders auf die Betonung eines verbesserten Service-Systems und die Andeutung einer Dauerlaufforderung für das Zertifizierungsverfahren hinzuweisen.

Thema	Vorschlag der Führungsgruppe
Kontrolle von Verdunstungsemissionen	Im Vergleich zu früheren Ansichten (1968 [1017]) hält die Führungsgruppe jetzt die Begrenzung von Verdunstungsemissionen für erforderlich (wäre in der Übernahme der US-Vorschriften beinhaltet).
Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen	Für Routineprüfungen wird aus Praktikabilitätsgründen nach wie vor nur eine Kontrolle des Leerlauf-CO-Gehaltes anlässlich der periodischen Inspektionen für möglich gehalten. Die Führungsgruppe schlägt jedoch darüber hinaus eine Bauteile-Funktionskontrolle vor. Die in den USA in Entwicklung befindlichen Kurztestverfahren sollen beobachtet werden.
Zertifikation	Ein Herstellerzertifikat soll nach wie vor als ausreichender Erfüllungsnachweis anerkannt werden. Es soll jedoch auch die Nachprüfung von Typprüffahrzeugen beim TSV („Trafiksäkerhetsverk", TSV) möglich sein. Die Übernahme der in der US-Gesetzgebung geforderten 50 000 Meilen-Dauerläufe wird abgelehnt (Kosten, Probleme), Dauerhaltbarkeitsnachweise sollten jedoch spätestens für 1977er Modelle gefordert werden.
Service	Mit zunehmend komplizierter werdenden Abgasreinigungsanlagen sieht die Führungsgruppe die Gefahr abnehmender Unempfindlichkeit und steigender Störanfälligkeit der Emissionskontrollsysteme und daraus resultierend schnellere Verschlechterung der Emissionswerte des Fahrzeugs. Die Automobilhersteller sollten deshalb bei der Zertifikation (Typbesichtigung) folgende Angaben machen - detaillierte technische - sowie Funktionsbeschreibung des Abgasreinigungssystems - eine Aussage, welche Wartung das System zur einwandfreien Funktion benötigt - eine Aussage über die in Schweden vorhandenen Inspektions-, Wartungs- und Einstellkapazitäten für diese Systeme. Das TSV sollte die Möglichkeit erhalten, Typzulassungen zu verweigern, wenn die in Schweden vorhandenen Service-Einrichtungen offensichtlich nicht ausreichen, ein befriedigendes Arbeiten der Abgasreinigungssysteme zu gewährleisten (bisher hatte das TSV schon die Möglichkeit, Typzulassungen zu versagen, wenn ein Teil der Abgasreinigungsanlage offensichtlich im praktischen Betrieb nicht zufriedenstellend arbeitete).

**Bild VI.3-13:** Vorschläge der Führungsgruppe zu relevanten Themen anlässlich der ersten Verschärfungs-Empfehlungen zur schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung für PKW mit Otto- und Diesel-Motoren, nach [1071].

### 3.7.5 Gesetzliche Folgen der Empfehlungen der Führungsgruppe

Die zuvor beschriebenen Vorschläge der Führungsgruppe trugen zur Verabschiedung folgender gesetzlicher Vorschriften bei:

- Verschärfung der Vorschriften für Pkw mit Otto-Motoren durch Übernahme der 1973er US-Grenzwerte und des entsprechenden Testverfahrens (FTP-72) für Schweden-Fahrzeuge ab Modelljahr 1976 (Gesetz F 40-1974). Mit der Übernahme der US-Grenzwerte trat in Schweden erstmals ein NO<sub>x</sub>-Grenzwert in Kraft.
- Gleichzeitig beinhaltete das Gesetz F 40-1974 die Forderung nach einem Dauerhaltbarkeitsnachweis für das Abgasreinigungssystem. Dieser konnte entweder durch Abwicklung eines 80.000-km-Dauerlaufs des Fahrzeugs oder Anwendung eines festen Verschärfungsfaktors von 1.1 auf die erlassenen Grenzwerte erbracht werden (wobei in der Praxis von allen Automobilherstellern aus Kostengründen nur die letzte Möglichkeit gewählt wurde).

- Vor Verkaufserlaubnis der Fahrzeuge mußte gemäß F 40-1974 ein Wartungshandbuch mit genauer Beschreibung der Montage- und Wartungsarbeiten bei der Zulassungsbehörde vorgelegt werden.

Unter anderem aufgrund der technologischen Schwierigkeiten der Automobilindustrie bei dem Bemühen zur Erfüllung der in den USA für die Modelljahre 1975/76 vorgesehenen (sogenannten "Muskie"-) Standards - entsprechend dem zweiten Absenkungsvorschlag der Führungsgruppe - wurden bis 1980 keine weiteren Verschärfungen der Zertifikationsstandards in Schweden verabschiedet. An dieser Stelle sei auch auf die in Kap. 6 (sowie die in Teil VII Kap. 5) dargestellten Probleme und Überlegungen im Zusammenhang mit einer neuen Zieldefinition der gesamten schwedischen Emissionskontrollbemühungen hingewiesen.

### 3.8 Verbesserungen auf dem Gebiet der Emissionsüberwachung von im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeugen mit Otto-Motor

In ihrem Abschlußbericht vom April 1971 hatte die Führungsgruppe des Verkehrsministeriums darauf hingewiesen, daß es eine der wichtigsten weiteren Aufgaben für das Fahrzeug-Emissionstest-Laboratorium in Studsvik (das ihr in 5jähriger Tätigkeit die Grundlagen für alle Vorschläge zur schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung verschafft hatte) sei, unter der Oberleitung des Naturschutzamtes die Überwachungsmethoden auf dem Gebiet der Schadstoffemissionen aus Kraftfahrzeugen weiterzuentwickeln {107}.

Nachdem die Führungsgruppe ihre vom 24.11.1965 bis 30.06.1970 dauernden Arbeiten abgeschlossen hatte, berief das Naturschutzamt eine besondere Beratungs- und Schiedsgruppe für die weitere Bearbeitung dieser Fragen ein. In der neuen Beratungsgruppe waren, um die Interessen aller Beteiligten zu berücksichtigen und den Zusammenhang zur bisher geleisteten Arbeit zu bewahren, folgende Bereiche zusammengeschlossen:

- Abgaslaboratorium in Studsvik
- AB Svensk Bilprovning
- Automobilindustrie
- Mineralölindustrie

Ein Arbeitsausschuß innerhalb der Gruppe erstellte eine Denkschrift, die von der Gesamtgruppe im August 1972 veröffentlicht wurde und die vor dem Hintergrund der seit der Einführung der schwedischen Bestimmungen gesammelten Erfahrungen die Möglichkeiten einer künftigen wirksameren Emissionskontrolle aufzeigte {1073}. Die wesentlichsten Gedanken dieses Papiers seien nachfolgend kurz diskutiert.

#### 3.8.1 Vergleich der ursprünglich angestrebten Ziele mit dem tatsächlich Erreichten

Die ab Modelljahr 1971 (d. h. ab Typbesichtigung 01.07.1970) zu erfüllenden maximalen HC- und CO-Emissionsgrenzwerte (45 g CO/km und 2.2 g HC/km) hätten nach Schät-

zung der Führungsgruppe im Durchschnitt zu Emissionswerten von 30 g CO/km und 1.5 g HC/km, d. h. zu einer 40%igen Verbesserung in beiden Komponenten führen sollen {1074}. Die in Kap. 5.1 näher beschriebenen Untersuchungen zeigten jedoch, daß zwar Neufahrzeuge bei der Zertifizierung annehmbare Emissionswerte lieferten, daß die gleichen Wagen jedoch nach einiger Laufzeit die zulässigen Grenzwerte überschritten. Daraus wurde gefolgert, daß der durch die vorhandenen Emissionskontrollbestimmungen erreichbare Effekt durch eine umfassendere Kontrolle und Überwachung noch weiter verbessert werden könnte. Außer der anlässlich der periodischen Inspektionen durchgeführten Leerlauf-CO-Einstellung stand jedoch zu diesem Zeitpunkt kein weiteres Mittel zur Emissionssenkung durch Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen zur Verfügung.

### 3.8.2 Möglichkeiten zur Verbesserung der Kontrollen

Das Ziel der Beratungsgruppe des Naturschutzamtes, Verbesserungsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Überprüfung des Fahrzeugemissionsverhaltens zu erarbeiten, erwies sich hinsichtlich eines Verfahrens zur Prüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen auch für die schwedischen Behörden als schwer realisierbar, da eine effektive Nachkontrolle nicht nur von der Kontrollorganisation selbst, sondern auch von Parametern, wie z. B.:

- schnelle technische Weiterentwicklung der Abgasreinigungssysteme
- hohe Anzahl Motorvarianten
- komplizierter meßtechnischer Aufwand
- Trägheit im Wartungsapparat (Service)

abhängt. Außerdem mußte die Prüfmethode ein akzeptabler Kompromiß zwischen dem Wunsch nach größtmöglicher Verbesserung der Luftqualität und der praktischen Realität sein {1075}.

Bei der Suche nach einem solchen praktikablen Kurztestverfahren war daher die prinzipielle Frage zu stellen, ob man eine derartige Nachprüfung darauf beschränken sollte, diejenigen Fahrzeuge zu finden, die beim vollständigen Zertifizierungstest die höchsten (und vielleicht über den zulässigen Grenzwerten liegende) Emissionen aufweisen würden, oder ob man statt dessen nur diejenigen Fahrzeuge ermitteln sollte, an denen einfachere Einstellarbeiten die beste Aussicht auf einen Erfolg (d. h. Emissionsverbesserung) haben würden {1075}.

Die erste Methode hat sich weltweit bis in die neueste Zeit hinein als nicht realisierbar erwiesen, die zweite Methode birgt die Gefahr, daß bestimmten Fahrzeugbesitzern Einstellungs- oder Reparaturarbeiten auferlegt werden, obwohl deren Fahrzeuge die Grenzwerte eines vollständigen Zertifizierungstest einhalten würden {1075}. Zu den in anderen Ländern in diesem Zusammenhang diskutierten Alternativen:

- Leerlaufprüfung
- Prüfung mit konstanter Motorbelastung

- vereinfachte Prüfung mittels Fahrprogramm
- Funktionskontrolle

nahm die Beratungsgruppe im einzelnen wie in den nachfolgenden Kapiteln gezeigt Stellung.

### 3.8.2.1 Leerlaufprüfung

Die Gruppe schlug vor, in künftige Leerlaufprüfungen eine HC-Messung aufzunehmen, obwohl der Zusammenhang von HC-Emission im Leerlauf zu HC-Emission im Gesamttest bei verschiedenen Fahrzeugen damaliger Ausstattung stark unterschiedlich war. Zwischen der CO-Emission im Leerlauf und der CO-Emission im Gesamttest bestand dagegen eine hohe Korrelation wie Bild VI.3-14 zeigt.

Fahrzeug-Modell	Anzahl Fahrzeuge	Regressionsgerade		Korrelationskoeffizient r		95% Vertrauensbereich für r	
		CO	HC	CO	HC	CO	HC
Volvo 142	26	$y = -0,21 + 0,103 x$	$y = 29,4 + 123,4 x$	0,73	0,36	0,49 bis 0,87	0,03 bis 0,66
Volvo 164	25	$y = 0,85 + 0,07 x$	$y = 40,3 + 190,7 x$	0,72	0,40	0,45 bis 0,87	0,01 bis 0,69
VW 1600 E*)	26	$y = -0,33 + 0,078 x$	$y = 159,7 + 265,5 x$	0,89	0,88	0,76 bis 0,95	0,74 bis 0,94
Alle Fahrzeuge	77	$y = 0,35 + 0,076 x$	$y = 80,1 + 218,6 x$	0,79	0,55	0,68 bis 0,86	0,38 bis 0,69

x = CO- oder HC-Ergebnis im ECE-Test; y = CO- oder HC-Gehalt im Leerlauf; Leerlauf-Emissionen bei betriebswarmem Motor gemessen. \*) E = Electronic; ECE = Economic Commission for Europe.

**Bild VI.3-14:** Zusammenhang zwischen Leerlauf CO- und HC-Werten mit den CO- und HC-Ergebnissen des kompletten ECE-Tests aufgrund von Studsvik-Untersuchungen, nach [1077].

Die Bedeutung und Wirksamkeit von Leerlauf-CO-Kontrollen und -Nachstellungen sei anhand von Daten der "AB Svensk Bilprovning" veranschaulicht, die in Bild VI.3-15 und Bild VI.3-16 wiedergegeben sind.

Unter der Voraussetzung, daß der in Bild VI.3-14 dargestellte Zusammenhang auch für die Fahrzeuge der Bilder VI.3-15 und VI.3-16 gilt, konnte damit gerechnet werden, daß die Einstellungen in bezug auf sämtliche geprüften Fahrzeuge im Durchschnitt eine etwa 10%ige Verringerung der CO-Emission bewirkten. Bezog man die Verringerung auf die Zahl der Fahrzeuge, bei denen eine Einstellung erforderlich war, so konnte mit einer 20%igen Verbesserung gerechnet werden [1080].

Für eine wirkungsvolle Leerlaufkontrolle wurden von der Gruppe folgende Veränderungen des bestehenden Überwachungssystems vorgeschlagen [1080]:

- Einführung einer zusätzlichen HC-Messung

CO-Gehalt vor Einstellung [Vol. %]	PKW		Davon	
	Anzahl	[%]	nicht eingestellt	eingestellt
≤ 5,5	363 029	63,0	—	—
5,6 bis 7,0	56 011	9,7	19 580	36 431
≥ 7,1	114 660	19,9	17 326	97 334
Summe	533 700	92,6	—	—
Werte fehlen	42 809	7,4	—	—
Gesamt	576 509	100	39 906	133 765

**Bild VI.3-15:** CO-Gehalte von PKW, die in der Zeit vom 1. 1. bis 31. 3. 1971 bei der „AB Svensk Bilprovning“ anlässlich der periodischen Inspektionen gemessen wurden, [1078].

CO-Gehalt vor Einstellung [Vol. %]	CO-Gehalt nach Einstellung [Vol. %]			Gesamt
	≤ 5,5	5,6 bis 7,0	≥ 7,1	
5,6 bis 7,0	36 283	148	—	36 431
≥ 7,1	95 110	1 542	682	97 334
Gesamt [Stück]	131 393	1 690	682	133 765
5,6 bis 7,0	27,1	0,1	—	27,2
≥ 7,1	71,1	1,2	0,5	72,8
Gesamt [%]	98,2	1,3	0,5	100

**Bild VI.3-16:** Erfolg der Einstellung an Vergasern von Fahrzeugen, die bei der ersten Überprüfung unzulässige Werte aufwiesen. Messungen der „AB Svensk Bilprovning“, [1079].



- Einstellung der Motordrehzahl ( $\pm 50$  U/min) vor der Abgasmessung
- einheitliches Verfahren zum Warmlaufen der Fahrzeuge (genau definierte Motortemperatur)
- weitreichendere Einstellung an Fahrzeugen mit zu hoher Emission
- geänderte Grenzwerte (niedriger und unterschiedlich für die verschiedenen Modelle, auf Schild im Fahrzeug herstellerseitig spezifiziert)

Die Problematik einer (derart erweiterten) Leerlaufkontrolle ist anhand von Vor- und Nachteilen in Bild VI.3-17 zusammengefaßt. In diesem Bild sind gleichzeitig die Vor-

Vorteile	Nachteile
<b>Methode 1: Erweiterte Leerlauf-Kontrolle</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Kontrolle kann mit geringem Zeitaufwand durchgeführt werden und erfordert nur eine einfache Ausrüstung.</li> <li>- Im Verhältnis zu den Kosten ist diese Prüfung bislang die wirkungsvollste Kontrollmaßnahme.</li> <li>- Man erhält gewisse Möglichkeiten, die CO-Emission des vollständigen Abgastests zu berechnen (der Zusammenhang ist jedoch für verschiedene Motoren unterschiedlich).</li> <li>- Die zusätzliche HC-Messung verbessert die Prüfmethode dadurch, daß Fahrzeuge mit hoher HC-Emission (z. B. wegen Defekten im Zündsystem) entdeckt werden, sowie eine genauere Vergasereinstellung vorgenommen werden kann.</li> <li>- Eine generelle Absenkung der Leerlauf CO-Gehalte im praktischen Fahrzeugbetrieb wurde erzielt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Leerlaufpunkt entspricht nur einem Betriebszustand. Da der Motor ohne äußere Belastung arbeitet, ist es schwer, diesen Betriebszustand hinsichtlich Motordrehzahl, Motortemperatur etc. zu definieren.</li> <li>- Die Möglichkeiten, die HC- und besonders die NOx-Emission im Hinblick auf die vollständige Abgasprüfung zu berechnen, sind sehr gering.</li> <li>- Die Möglichkeit zu präzisen Angabe für Einstellungs- oder Reparaturarbeiten sind gering.</li> <li>- Vor allem ältere Fahrzeuge können oft in der vorhandenen Zeit nicht optimal eingestellt werden (z. B. Drehzahl), so daß Klagen wegen schlechteren Fahrverhaltens nach der Einstellung möglich sind.</li> <li>- Die zur besseren Reproduzierbarkeit des Testergebnisses wünschenswerte definierte Vorkonditionierung läßt sich bei dem üblichen Fahrzeugandrang an den Prüfstellen oft nicht realisieren.</li> </ul>
<b>Methode 2: Prüfung mit konstanter Motorbelastung („Key-Mode“)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Möglichkeit, Fahrzeuge mit einer nicht akzeptablen Emission sicher zu erfassen (besonders im Neuzulassungsbereich).</li> <li>- Durch Einschluß von drei verschiedenen Betriebsphasen können Motormängel besser beurteilt werden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhere Kosten als Methode 1, da Rollenprüfstand (allerdings in einfacher Ausführung ohne Schwungmasse) erforderlich ist.</li> </ul>
<b>Methode 3: Vereinfachte Prüfung mit Fahrprogramm („Short Cycle“)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativ bestmögliche Abschätzung des Fahrzeug-Emissionsverhaltens im Verhältnis zum Gesamttest.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anlage am teuersten (gegenüber Alternative 1 und 2); Rollenprüfstand braucht Schwungmassen.</li> <li>- Nur begrenzte Aussage hinsichtlich notwendiger Einstell- oder Reparaturarbeiten durch das Testergebnis möglich.</li> </ul>
<b>Methode 4: Funktionskontrolle</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wesentliche Verbesserung der Kontrolle ist bei Zuhilfenahme von HC- und CO- Prüfinstrumenten bei der Leerlaufeinstellung zu erwarten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gefahr von Fehlmessungen oder Fehleinstellungen falls Qualifikation des Prüfpersonals (Mechaniker) nicht ausreichend ist.</li> <li>- Möglichkeiten, nur durch optische Inspektion des Abgasreinigungssystems dessen Funktionsfähigkeit zu beurteilen, sind sehr gering.</li> <li>- Ohne genaue Herstellerinformation über das verwendete Abgasreinigungssystem und dessen Prüf- und Einstellaufgaben ist die Methode nicht praktikabel.</li> </ul>

**Bild VI.3-17:** Problematik der von der Beratungs- und Schiedsgruppe des Naturschutzamtes vorgeschlagenen Methoden zur Verbesserung der Emissions-Überprüfungsverfahren, dargestellt anhand der Vor- und Nachteile der einzelnen Alternativen, nach [1082].

und Nachteilen weiterer, in den nachfolgenden Kapiteln beschriebener, Methoden aufgeführt.

### 3.8.2.2 Prüfung mit konstanter Motorbelastung ("Key-Mode")

Unter Zugrundelegung eines Verfahrens nach dem "Clayton Key Mode"-Test hielt die Gruppe eine Leerlaufprüfung mit konstanter Motorbelastung für eine wesentlich aussagefähigere Methode. Eine Studsvik-Untersuchung, die den Zusammenhang des Leerlauf-CO-Gehaltes mit den Werten des "Clayton Key Mode"-Tests sowie dem Ergebnis des dazugehörigen Gesamt-ECE-Tests vergleicht, ist in Bild VI.3-18 gezeigt. Die Messun-

Emissionen im „Key-Mode“ Test									Emissionen im ECE-Test <sup>4)</sup>		
Leerlauf			Niedrig-Konstant			Hoch-Konstant					
CO [Vol. %]	HC [ppm]	NO [ppm]	CO [Vol. %]	HC [ppm]	NO [ppm]	CO [Vol. %]	HC [ppm]	NO [ppm]	CO [g/km]	HC [g/km]	NO <sup>1)</sup> [g/km]
<sup>2)</sup> 4,0	280	80	2,0	150	1380	1,4	110	2860	33,0	1,32	1,90
<sup>3)</sup> 2,7	197	25	21	88	700	1,6	60	900	19,3	0,48	0,57

1) Im Beutel mit Chemolumineszenzgerät gemessen 2) gerundete Mittelwerte aus 67 Tests 3) Standardabweichung;  
4) ECE = Economic Commission for Europe.

gen ergaben, daß durch eine derartige Prüfung bessere Rückschlüsse auf die Gesamtemissionen im ECE-Test möglich waren als durch eine reine Leerlaufprüfung. Ein

**Bild VI.3-18:** Vergleich der Emissionen eines Kurztest-Verfahrens („Key-Mode“ Test) zum Gesamttest (ECE-Test) an 67 Fahrzeugen, nach [1083].

konnte zwischen den mit belastetem Motor gemessenen Stickoxid-Werten und den Stickoxidemissionen bei der Prüfung mittels Fahrprogramm festgestellt werden [1084].

Dem Nachteil höherer Kosten gegenüber einer erweiterten Leerlaufkontrolle stehen die Möglichkeiten einer Prüfung mit konstanter Motorbelastung gegenüber, Fahrzeuge mit einer nicht akzeptablen Emission (besonders im NO<sub>x</sub>) sicherer zu finden sowie das Emissionsverhalten in drei verschiedenen Betriebsphasen beurteilen und dadurch besser Motormängel feststellen zu können.

### 3.8.2.3 Vereinfachte Prüfung mit Fahrprogramm (Kurztest)

Dieses Verfahren ermöglicht besser als alle anderen Kurzprüfungen eine Abschätzung des Fahrzeug-Emissionsverhaltens. Ähnlich dem "New Jersey ACID-Test", der als Kurztest zu Zeiten des "California-Cycle" entwickelt wurde, sowie des "Federal Short Cycle", der als Kurztest zum LA4-Zyklus gedacht war (siehe dazu auch Teil II, Kap. 8.1.5), hatte man auch in Studsvik an einem vereinfachten Fahrprogramm für Inspektionszwecke gearbeitet [1085]. Bei diesem vereinfachten Fahrzyklus (dem sogenannten SV60) wurde die Motorbelastung auf die Verhältnisse der Motorbelastung bei einem

Fahrzeug-Modell	Anzahl Fahrzeuge	Regressionsgerade		Korrelationskoeffizient r		95% Vertrauensbereich für r	
		CO	HC	CO	HC	CO	HC
Volvo 142	26	$y = 4,54 + 0,765 x$	$y = 0,47 + 0,468 x$	0,87	0,71	0,72 bis 0,94	0,55 bis 0,89
Volvo 164	25	$y = 5,35 + 0,784 x$	$y = 0,51 + 0,339 x$	0,82	0,49	0,62 bis 0,92	0,12 bis 0,74
VW 1600 E	26	$y = 8,98 + 0,788 x$	$y = 0,05 + 0,475 x$	0,89	0,83	0,77 bis 0,95	0,65 bis 0,92
Alle Fahrzeuge	77	$y = 0,28 + 0,779 x$	$y = 0,30 + 0,481 x$	0,84	0,65	0,75 bis 0,89	0,50 bis 0,76

x = CO- oder HC-Emission im ECE-Test; y = CO- oder HC-Emission im vereinfachten ECE-Test (mit Motor-Warmstart); ECE = Economic Commission for Europe.

**Bild VI.3-19:** Zusammenhang zwischen Original ECE-Test und vereinfachtem Test (SV 60) aufgrund von Studsvik-Untersuchungen, nach [1086].

Ablauf gemäß dem ECE-Zyklus abgestimmt. Bild VI.3-19 zeigt den Zusammenhang zwischen der vollständigen Prüfung und dieser vereinfachten Prüfung, der veranschaulicht, daß die Korrelation in bezug auf CO sehr groß, in bezug auf HC in zwei von drei Fällen relativ groß war.

Für die Prüfung war jedoch ein Rollenprüfstand mit zusätzlicher Schwungmasse erforderlich, wodurch die Methode zur kostspieligsten der bisher genannten Alternativen wurde. Sie vermittelte auch nur begrenzt Informationen, die als Hilfe für Einstell- oder Reparaturarbeiten dienen konnten. Andererseits simulierte sie besser die Fahrweise im Verkehr und beinhaltete verschiedene Betriebszustände. Dadurch wurde eine bestmögliche Korrelationswahrscheinlichkeit zum Gesamttest erwartet {1087}.

#### 3.8.2.4 Funktionskontrolle

Das Ziel einer Funktionskontrolle ist es, mit einer direkten Kontrolle der Motorfunktionen die Möglichkeit zu erhalten, am Fahrzeug entsprechende Korrektur-Maßnahmen vorzunehmen. Diese Kontrolle bezieht sich in erster Linie auf eine Inspektion des Vergasers und des Zündsystems, kann jedoch auch die Kontrolle anderer, den Schadstoffausstoß beeinflussender Einrichtungen und Einzelteile umfassen. Als Ergänzung kann die Messung des Kohlenmonoxidgehaltes im Leerlauf durchgeführt werden {1088}.

Ein sehr wesentlicher Faktor bei dieser Prüfung ist die Qualifikation der Mechaniker, um Fehleinstellungen (die Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs sowie der Emissionswerte oder eine Verschlechterung des Fahrverhaltens bringen können) zu vermeiden. Der Mechaniker muß sich genau bewußt sein, welche Folgen die verschiedenen Einstellmaßnahmen haben {1089}.

#### 3.8.3 Vorschläge der Beratungsgruppe

Nach Sichtung des zu den zuvor behandelten Alternativen in Studsvik erstellten Untersuchungsmaterials, der negativen Ergebnisse bisheriger Emissionsprüfungen im Verkehr sowie Diskussion der Vor- und Nachteile der obengenannten Methoden kam die Gruppe zu folgenden Schlüssen:

Da die Überprüfung von Fahrzeugen der Baujahre 1971 und 1972 gezeigt hatten, daß  $\approx 30\%$  der Fahrzeuge eine CO- und HC-Emission aufwiesen, die die im Gesetz (F23-1969) vorgeschriebenen Grenzwerte überstiegen, wurde das - bei der im Reichstag 1968 erfolgten Verabschiedung der Bestimmungen für das Fahrzeugabgasgebiet - angestrebte Ziel als nicht erreicht angesehen. Anstelle der im Vergleich zu ungereinigten Fahrzeugen erhofften 40%igen Senkung des HC- und CO-Niveaus deuteten die obengenannten Ergebnisse darauf hin, daß nur eine durchschnittliche Verminderung von 25 bis 30 % erreicht worden war {1090}.

Die Gruppe schätzte darüber hinaus, daß bei den zu jener Zeit in Schweden üblichen Kontrollmethoden nur etwa 50 % derjenigen Fahrzeuge erfaßt werden konnten, die bei der vollständigen Abgasprüfung einen zu hohen Schadstoffausstoß zeigen würden {1090}.

Gleichzeitig wurde über die Tatsache, daß der schwedischen Fahrzeugpopulation bei Neuzulassungen offensichtlich laufend Fahrzeuge zugeführt wurden, die den geltenden Bestimmungen nicht entsprachen, deutlich Unmut zum Ausdruck gebracht und der sich daraus ergebenden Zwang angedeutet, schärfere Kontrollen einführen zu müssen [1090].

Als Verbesserung der bestehenden Inspektionssysteme, d. h. zur Verschärfung der Kontrollen, schlug die Gruppe aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus zwar die Leerlaufprüfung weiterhin vor, forderte jedoch, daß diese Art der Kontrolle wegen der in Bild VI.3-17 zusammengestellten Nachteile durch andere Maßnahmen zu vervollständigen sei. Hierbei wurde eine Nachprüfung im Zusammenhang mit der Typzulassung vorgeschlagen und gefordert, diese Maßnahmen durch laufende Stichprobenprü-

Bereich	Verbesserungsvorschläge
Nachprüfung und Stichprobenkontrolle	Prüfung von mindestens 25 bis 30 Fahrzeugen eines jeden Modells mittels vollständigen Abgastests bei Nachprüfungen, oder 10 bis 20% aller Fahrzeuge mittels vollständigen Abgastests bei Stichproben. Rest der Fahrzeuge nach vereinfachter Prüfung mit Motorwarmstart. Jedes Jahr erfolgt in Schweden die Typzulassung von $\approx 400$ Fahrzeugmodellen, wobei $\approx 100$ verschiedene Motorvarianten zugelassen werden. Zur Durchführung des Nachprüfungs- und Stichprobenprogramms müssen daher 3 Prüfstationen vorhanden sein. Vorschlag: Stockholm, Göteborg, Malmö. Geschätzte Kosten: 3,2 Mio. Skr. (Investition) + 1,1 Mio. Skr. (Unterhalt/Jahr). Davon sind 50% für die Nachkontrollen erforderlich. Kosten der Nachkontrollen sollte das Verkehrsministerium tragen, die Kosten für die Stichproben sollten sich aus Mitteln der Fahrzeugsteuer oder durch Abgaben bei der periodischen Inspektion decken.
Leerlauf-Kontrolle	Zusätzlich zur bereits erfolgenden CO-Messung sollte auch HC im Leerlauf gemessen werden. Kostenschätzung: 3,30 Skr. pro Untersuchung (bei Prüfzeiterhöhung von 2 min.). Übergang von gesetzlich vorgeschriebenem Leerlauf-Grenzwert auf fahrzeugindividuellen Einstellwert. Verbesserung der heutigen Vorgehensweise bei den anläßlich der periodischen Inspektionen durch die „AB Svensk Bilprovning“ vorgenommenen Einstellarbeiten.
Wartung	Die bisherigen Wartungsarbeiten sind vollkommen unzureichend (bis auf Ausnahmen). Es mangelt an Ausbildung, Instrumenten und Wartungsvorschriften. Schon bei der Einführung eines neuen Fahrzeugmodells sollten daher die auf das Emissionskontrollsystem bezogenen Wartungsvorschriften vorliegen. Diese Vorschriften müssen auf die Möglichkeiten der Werkstätten abgestimmt sein. Wesentliche Angaben über Einstellungs- und Wartungsarbeiten in Bezug auf das Emissionskontrollsystem sollten auf einem leicht zugänglichen, gut sichtbaren und haltbaren Schild im Motorraum eines jedes Fahrzeugs vermerkt sein. Das Wartungspersonal muß weiter geschult werden, z. B. durch Ausbildungskurse in Zusammenarbeit mit dem Fahrzeughersteller und z. B. dem Studsvik-Labor. Ständige Prüfung und Wartung der zu Einstell- oder Kontrollarbeiten verwendeten Instrumente.

**Bild VI.3-20:** Vorschläge der Beratungs- und Schiedsgruppe des Staatlichen Naturschutzamtes zur Verbesserung der derzeitigen (1972) Kontrollverfahren zwecks Überprüfung und Sicherung der Betriebsbereitschaft von Emissionskontrollsystemen an PKW mit Otto-Motor, nach [1091].

fungen mittels kompletter Abgastests zu ergänzen. Weiterhin sollten die Veränderungen des Emissionsverhaltens bei zunehmendem Fahrzeugalter erfaßt und nach Einführung eines dem US-Verfahren ähnlichen Langzeittests auch der Erlaß von Rückrufvorschriften geprüft werden. In Bild VI.3-20 sind die Vorschläge der Gruppe zusammengefaßt.

Die obengenannten Ausführungen charakterisieren als typisches Beispiel die "Vorschriftenspirale", die in diesem Fall nicht auf politischem Zahlenspiel, sondern auf der logischen Folgekette: "Erlaß von Vorschriften - Nichterfüllung dieser Vorschriften - Erlaß verschärfter Vorschriften" basiert.

#### 3.8.4 Wirtschaftliche Folgen der Vorschläge der Beratungsgruppe

Aufgrund der Vorschläge der Beratungsgruppe zur Verbesserung der Prüfverfahren arbeitete die "AB Svensk Bilprovning" Kostenschätzungen zu den verschiedenen Vorschlägen aus. Diese Schätzungen seien nachfolgend zur Verdeutlichung des Aufwandes für derartige - oft sehr einfach erscheinende - Nachprüfaktivitäten zusammengefaßt wiedergegeben.

### 3.8.4.1 Kosten einer erweiterten Leerlaufprüfung

Die "AB Svensk Bilprovning" wies darauf hin, daß im Rahmen der routinemäßigen Fahrzeuginspektionen schon ab 01.07.1970 eine Leerlaufkontrolle durchgeführt wurde und daß jede Ergänzung in diesem Programm der schon bestehenden Kontrollsysteme zu einer

Alternative Kosten [1972 – Skr.]	1	2
Investition	$2,7 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$
Betrieb	$0,7 \cdot 10^6$	$0,95 \cdot 10^6$
Arbeitskosten pro Prüfablauf	3,0	7,5
Gesamte Betriebskosten (bei $2,2 \cdot 10^6$ Prüfungen)	3,3	7,9
Gesamt *)	$7,3 \cdot 10^6$	$17,45 \cdot 10^6$
Alternative 1: Zusätzliche HC-Messung; Alternative 2: zusätzliche HC- und Leerlaufdrehzahl-Messung. *) incl. $10^6$ Skr. für die Ausbildung des Personals.		

**Bild VI.3-21:** Von der „AB Svensk Bilprovning“ geschätzte zusätzliche Kosten zweier Alternativen zur Verbesserung der Leerlauf-Kontrolle, nach [1092].

Beeinflussung der anderen Punkte dieses Prüfsystems führen würde. Es wurde auch betont, daß ein Warmfahren der Motoren nicht in den Arbeitsablauf der Prüfstationen einbezogen werden könne. Von den 160 vorhandenen Prüfstellen müßten 25 Stationen erweitert werden, da deren Platzverhältnisse für die zusätzlichen Aufgaben nicht ausreichten. Ein derartiger Ausbau wurde mit  $30 \cdot 10^6$  Skr. veranschlagt, ohne jedoch mit Sicherheit die Gefahr der Durchsatzverringerung aufgrund von Verteilungs- und Verlustzeiten auszugleichen [1092]. Bei der in Bild VI.3-21

gezeigten Kostenschätzung für die beiden Alternativen:

1. Ergänzende HC-Messung (geschätzter Zeitbedarf: 2 min)
2. Ergänzende HC- und Leerlaufdrehzahlmessung (geschätzter Zeitbedarf: 5 min)

wurde von einem Idealfall (bezüglich Durchlaufzeit) ausgegangen sowie folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- gleichzeitige Messung von HC und CO
- Ansprechzeiten beider Instrumente gleich
- Drehzahlmessung ohne Eingriff in die Verkabelung des Zündsystems
- Kostenniveau 1972

### 3.8.4.2 Kosten einer "Key-Mode"-Prüfung

Auch bei Betrachtung dieser Alternative wurde davon ausgegangen, daß die Einrichtungen

	Kosten-Verursacher	Kostenhöhe [ $10^3$ Skr. – 1972]
<b>Gebäude</b>	Büroteil (40 m <sup>2</sup> )	72
<b>Pro Prüfbahn</b>	Pro Prüfbahn (95 m <sup>2</sup> )	209
	Analyseneinrichtung	30
	Rollenprüfstand	30
	Abgasabsaugung	15
<b>Investition *)</b>	Gebäude	56
	Einrichtungen	16
	Personaleinstellung	2
<b>Betrieb</b>	Gebäude und Einrichtungen	11
	Personal	18
<b>Kosten/Prüfung **)</b>		<b>13 Skr.</b>
*) 163 Stationen / 211 Prüfbahnen / 349 Prüfpersonal. **) Annahme: es werden 2,2 Mio. Prüfungen durchgeführt.		

**Bild VI.3-22:** Von der „AB Svensk Bilprovning“ geschätzte Kosten für die Einführung eines Key-Mode Systems, nach [1093].

gen an schon vorhandene Prüfstationen angeschlossen werden können, wobei die Kapazität der neuen Anlagen von der Leistungsfähigkeit dieser vorhandenen Stationen bestimmt würde. Bild VI.3-22 zeigt die als notwendig erachteten Investitionskosten,

wobei die Aufwendungen für die Durchführung der Prüfung, der Auswertung sowie der Registrierung der Meßwerte in der Berechnung nicht enthalten sind. Die zusammengestellten Kosten beziehen sich auf das Jahr 1972.

#### 3.8.4.3 Kosten einer Stichprobenkontrolle

Die anhand eines kompletten Fahrzyklus erfolgende Stichprobenkontrolle findet sowohl bei neuen als auch älteren Fahrzeugen Anwendung. Als neu gelten Fahrzeuge, die mindestens 3.000 km zurückgelegt haben, wobei dieser Wert nicht wesentlich überschritten werden sollte. Die Untersuchung von neuen Fahrzeugen wurde bis 1.7.1978 durch das Verkehrssicherheitsamt (TSV) durchgeführt. Ab diesem Datum übernahm die AB Svensk Bilprovning derartige Überprüfungen.

Da hierbei als "Test" die Kombination einer vollständigen ECE-Prüfung gefolgt von einer ECE-Prüfung mit betriebswarmem Motor definiert wurde und beide Teile gleiche Prüfzeit beanspruchen, ergab sich bei den jährlich geprüften  $\approx 100$  Motormodellen ein Zeitaufwand von etwa 4.000 Prüfungen pro Jahr, wenn je Modell 20 Fahrzeuge getestet werden sollten. Unter der Annahme, daß eine gleichmäßige Verteilung der Prüftätigkeit zwischen neuen und älteren Fahrzeugen stattfindet, wäre dadurch eine Kapazität von etwa 8.000 Prüfungen/Jahr erforderlich gewesen {094}.

Kosten-Verursacher	Kostenhöhe [10 <sup>3</sup> Skr - 1972]
Kalkulierte Baukosten (bei 300 m <sup>2</sup> Grundfläche)	700
Analysen + Probenahme	190
Rollenprüfstand	80
Hebebühne	15
Prüfmittel + Werkzeug	15
Büroeinrichtung	5
Abgasabsaugung	10
Gesamt für 3 Prüfstationen (Investition)	
Gebäude	2100
Einrichtung	945
Einstellung + Ausbildung Personal (4 Personen/Station = 12 Personen)	100
Gesamt für 3 Prüfstationen (Betrieb)	
Gebäude + Einrichtung	510
Personal	600

**Bild VI.3-23:** Von der „AB Svensk Bilprovning“ geschätzte Kosten der Einführung einer Stichprobenprüfung, nach [1095].

Die in Bild VI.3-23 zusammengefaßten Kosten enthalten keinen Anteil für eventuell erforderlichen Grunderwerb. In der Beurteilung der Betriebskosten sind auch folgende Kosten nicht enthalten: Auswahl, Ausleihe, Abholung und Rücktransport der zu prüfenden Fahrzeuge sowie die Auswertung und Registratur der erhaltenen Meßwerte. Den Kostenangaben liegt das Jahr 1972 zugrunde.

Für einen idealen Durchlauf schätzte die "AB Svensk Bilprovning" die Kosten wie in Bild VI.3-23 wiedergegeben. Eine Station

bestand hierbei aus einem Büro- und Lagerteil sowie mehreren Prüfbahnen (je nach Kapazitätsbedarf). Es war beabsichtigt, jeden Prüfstandsort mit einem Rollenprüfstand auszurüsten. Die Kapazität wird durch die Laufzeit auf dem Rollenprüfstand sowie durch die Zeiten für das Auf- und Abfahren bestimmt. Die maximale Tageskapazität wurde mit 11 vollständigen und 11 Warmstartprüfungen, die normale Kapazität mit jeweils 8 dieser Prüfungen angenommen. Die Normalkapazität für ausschließliche Warmstartprüfungen wurde mit 15/Tag berechnet. Es wurden 4 Personen/Prüfstand für die normale Kapazität angesetzt {1094}. Unter der Annahme, daß pro Jahr 200 Arbeitstage ausgenutzt werden können, wären drei Prüfungsstandorte erforderlich, die 4.800

vollständige und 4.800 Warmstartprüfungen pro Jahr erreichen könnten. Es wurde davon ausgegangen, daß der Prüfstandort an eine bereits bestehende Fahrzeugprüfstation angegliedert werden kann [109].

3.9 Chronologische Zusammenfassung der Gesetz gewordenen schwedischen Emissionskontrollvorschriften für Pkw

Nachdem längere Zeit nur eine allgemeine Vorschrift über den möglichst "belastigungsfreien" Betrieb von Motorfahrzeugen bestanden hatte, nahm eine genau reglemen-

Gesetz	Einsatz	Inhalt											
VTK <sup>1)</sup> § 116		„Der Fahrer eines Motorfahrzeugs soll sein Fahrzeug so betreiben, daß es kein unnötiges Geräusch verursacht und soll – soweit wie möglich – sicherstellen, daß das Fahrzeug keine Belästigung durch Rauch oder Gase verursacht“.											
BAK <sup>2)</sup> § 6	1. 7. 1969	<p>Spezifizierung des Begriffes „Belästigung“ durch Festlegung von Grenzwerten und Meßverfahren zur Bestimmung der Rauchdichte von Diesel-Motoren:</p> <table><tr><td rowspan="3">Rauch-Grenzwert</td><td>Typprüfung</td><td>Nachprüfung</td><td></td><td rowspan="3">( )-Werte gelten für Bus für &gt; 30 Passagiere</td></tr><tr><td>3,5 (2,5)</td><td>4,5 (3,5)</td><td>(Bosch)</td></tr><tr><td>45 % (30 %)</td><td>60 % (45 %)</td><td>(Hartridge)</td></tr></table>	Rauch-Grenzwert	Typprüfung	Nachprüfung		( )-Werte gelten für Bus für > 30 Passagiere	3,5 (2,5)	4,5 (3,5)	(Bosch)	45 % (30 %)	60 % (45 %)	(Hartridge)
Rauch-Grenzwert	Typprüfung	Nachprüfung			( )-Werte gelten für Bus für > 30 Passagiere								
	3,5 (2,5)	4,5 (3,5)		(Bosch)									
	45 % (30 %)	60 % (45 %)	(Hartridge)										
F12–1968  F16–1968	Modelljahr <sup>3)</sup> 1969	<p>Begrenzung der Kurbelgehäuse-Emissionen von benzinbetriebenen 4-Takt-Motoren auf Null (geschlossenes System).</p> <p>Begrenzung des CO-Gehaltes im Fahrzeug-Innenraum (bei Prüfung max.: 0,01 Vol. %). Damit verbunden: Notwendige Auspuff-Endrohr-Führung.</p>											
F19–1969	1. 7. 1969 rückwirkend	<p>Die Regelung ersetzt die entsprechenden Anweisungen vom 1. 6. 1965 und enthält Ausführungsbestimmungen bezüglich der Rauchdichtemessung an Diesel-Motoren im Zusammenhang mit:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Plombierung der Einspritzpumpe</li><li>– Kontrolle der Rauchdichte bei Fahrzeugen im Verkehr</li></ul>											
F20–1969	1. 7. 1969 rückwirkend	<p>Die Bestimmungen beschreiben Art und Weise der Plombierung von Einspritz-pumpen an Diesel-Motoren. Rauchdichte-Grenzwerte bleiben wie in F19–1969 (dürfen außer bei Start oder Gangwechsel nicht überschritten werden).</p>											
F23–1969	Modelljahr 1971	<p>Die Vorschrift bezieht sich auf benzinmotorgetriebene Kraftfahrzeuge mit &gt; 0,8 l Hubraum und &lt; 2,5 t Gesamtgewicht und begrenzt die HC- und CO-Emissionen im ECE-R15 Verfahren.</p> <table><tr><td rowspan="2">Grenzwerte [g/km]</td><td>HC *)</td><td>CO</td><td rowspan="2">*) HC mit NDIR gemessen</td></tr><tr><td>2,2</td><td>45</td></tr></table>	Grenzwerte [g/km]	HC *)	CO	*) HC mit NDIR gemessen	2,2	45					
Grenzwerte [g/km]	HC *)	CO		*) HC mit NDIR gemessen									
	2,2	45											
F26–1970	1. 7. 1970 rückwirkend	<p>Begrenzung des max. Leerlauf-CO-Gehaltes von Fahrzeugen des Modelljahres 1970 oder früher auf 4,5 Vol. % oder auf niedrigst möglichen Gehalt über 4,5 Vol. %.</p>											
F25–1970	Modelljahr 1971	<p>Die Bestimmung enthält Vorschriften für die Kaltstartvorrichtung bei Diesel-Motoren: Die Kaltstartvorrichtung soll so beschaffen sein, daß sie nicht hängen-bleiben, nicht festgehalten und nicht außer Betrieb gesetzt werden kann, wenn der Motor angelassen wird.</p>											
F40–1974	Modelljahr 1976	<p>Die Vorschrift verschärft die Grenzwerte für die in F23–1969 genannten benzin-motorgetriebenen Fahrzeuge und führt Grenzwerte für die NO<sub>x</sub>-sowie für die Verdunstungs-Emission des Fahrzeugs ein. Übergang vom ECE-R15 Verfahren auf die US-FTP (Federal Test Procedure)-72. Die Grenzwerte entsprechen denen des US-Modelljahres 1973.</p> <p>*) HC mit FID gemessen</p> <table><tr><td>Schadstoff</td><td>HC*)</td><td>CO</td><td>NO<sub>x</sub></td><td>Bemerkungen</td></tr><tr><td>Grenzwerte [g/km]</td><td>2,1</td><td>24,2</td><td>1,9</td><td>Bei offiziellen Nachprüfungen der Zertifizierung dürfen die erreichten Emissionswerte, die mit 1,1 multipliziert werden, die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschreiten.</td></tr></table>	Schadstoff	HC*)	CO	NO <sub>x</sub>	Bemerkungen	Grenzwerte [g/km]	2,1	24,2	1,9	Bei offiziellen Nachprüfungen der Zertifizierung dürfen die erreichten Emissionswerte, die mit 1,1 multipliziert werden, die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschreiten.	
Schadstoff	HC*)	CO	NO <sub>x</sub>	Bemerkungen									
Grenzwerte [g/km]	2,1	24,2	1,9	Bei offiziellen Nachprüfungen der Zertifizierung dürfen die erreichten Emissionswerte, die mit 1,1 multipliziert werden, die gesetzlichen Grenzwerte nicht überschreiten.									

<sup>1)</sup> VTK – Vägtrafikkungörelsen (Straßenverkehrsbekanntmachung); <sup>2)</sup> BAK – Bilavgaskungörelsen (Automobilabgasbekanntmachung);  
<sup>3)</sup> Modelljahr: Frühester Beginn am 1. Juli des vorangehenden Kalenderjahres.

Bild VI.3-24: Zusammenstellung der in Schweden Gesetz gewordenen Emissionskontrollvorschriften, nach [1104]

tierte schwedische Emissionskontrollgesetzgebung am 01.06.1965 mit der Einführung von Dieselauch-Grenzwerten ihren Anfang. Im Jahre 1969 wurden erstmals Otto-Motoren durch Verbot des Austretens von Kurbelgehäuse-Gasen in die Atmosphäre in dieses Gesetzeswerk einbezogen, und ab Modelljahr 1971 erfolgte für diese Motoren durch Übernahme der ECE-Gesetzgebung auch eine Begrenzung der HC- und CO-Auspuffemissionen.

Schweden behielt bis einschließlich Modelljahr 1975 diese ECE-Gesetzgebung bei, entschloß sich jedoch im Jahre 1974, die USA-Vorschriften des US-Modelljahres 1973 für Schweden ab Modelljahr 1976 anzuwenden. Die schwedische Regierung hatte sich zu diesem Zeitpunkt zum Ausscheren aus einer gemeinsamen europäischen Vorgehensweise gezwungen gesehen, da sie der Meinung war, daß:

- der schwedischen Bevölkerung möglichst fortschrittliche Abgasreinigungssysteme angeboten werden sollten, und daß
- die von Schweden für erforderlich gehaltenen weiteren Absenkungen der Emissionsgrenzwerte innerhalb der ECE-Vorschriften nicht in absehbarer Zeit realisierbar erschienen.

Wie im Vorausgegangenen ausführlich erläutert, folgte die schwedische Regierung im weiteren Verlauf jedoch nicht den Vorschlägen der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums, die für die Modelljahre 1974 bis 1976 eine erste und ab Modelljahr 1977 eine zweite Verschärfungsstufe für erforderlich gehalten hatte. Bis zum Jahre 1980 zeigte sie dagegen große Unsicherheit über die - unter den bis dahin bekanntgewordenen Implikationen einer zu schnellen Gesetzesfortschreibung sowie der auf nationaler und internationaler Ebene entscheidend veränderten wirtschaftspolitischen Situation - in Zukunft zu unternehmenden oder überhaupt noch möglichen und vertretbaren Schritte.

Eine chronologische Zusammenstellung aller in Schweden bis heute Gesetz gewordenen Emissionskontrollvorschriften für Pkw ist in Bild VI.3-24 wiedergegeben.

#### 4. Untersuchungen und Programme offizieller Stellen

Im Rahmen des in Kap. 3.1 zitierten 5jährigen Forschungsprogramms (1965 bis 1970) wurden die zur Entscheidungsfindung bezüglich der schwedischen Kraftfahrzeug-Emissionskontrollgesetze erforderlichen Arbeiten hauptsächlich im speziell für diese Zwecke etablierten Laboratorium der "AB Atomenergi" in Studsvik durchgeführt. Zur Charakterisierung der hier erfolgten - von der schwedischen Regierung finanzierten - Bemühungen zur Erfassung und Verringerung der durch Automobile verursachten Schadstoffemissionen, seien einige dieser Arbeiten exemplarisch herausgegriffen und ihre Ergebnisse diskutiert.

##### 4.1 Erfassung von Emissionen ungereinigter Fahrzeuge ("baseline-studies")

Ein allgemein interessierendes Problem (auch zu Beginn der ECE/EG-Emissionskontrollgesetzgebung) war die Frage nach der sogenannten "baseline", d. h. dem Emissionsni-



Schadstoffemission kg [1000 l Kraftstoff]	HC	CO	NO <sub>x</sub>	Blei	Partikeln	SO <sub>2</sub>
Motor-Typ						
Otto-Motor	50 *)	350	17	0,6	1,5	0,6
Diesel-Motor	39	20	23	0	8	8

\*) davon: 30 aus dem Abgas und je 10 aus Verdunstung und Kurbelgehäuse

**Bild VI.4-1:** Vergleich der Emissionen von ungereinigten Fahrzeugen mit Otto- und Diesel-Motor im ECE-Test, bezogen auf den verbrauchten Kraftstoff, [1097].

Schadstoff	Massen-Emission [g/km]
CO	46
HC (als Hexan)	2,3
NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	2,2
Partikeln	0,08
Bleiverbindungen (an Partikeln angelagert)	0,035

**Bild VI.4-2:** Schadstoff-Emissionen eines mittleren ungereinigten PKW mit Otto-Motor im ECE-Test, [1098].

angefallenen Testresultate nach dem ECE-Fahrzyklus gaben zusätzlich Aufschluß über die "baseline" der Emissionen des europäischen Fahrzeugparks. Im Studsvik-Labor wurden 105 Gebrauchtfahrzeuge gemäß ECE-Test untersucht. Eine Gegenüberstellung der Testergebnisse ist in Bild VI.4-3 gezeigt.

Fahrzeug-Typ	Modelljahr	Bezugsmasse [kg]	Anzahl getesteter Fahrzeuge	ECE-Test		USA-1968		USA-1970	
				CO [g/km]	HC <sup>1)</sup> [g/km]	CO [Vol. %]	HC <sup>1)</sup> [ppm]	CO [g/km]	HC <sup>2)</sup> [g/km]
Volvo-Amazon	1962 bis 1968	1140 bis 1250	33	46	2,2	2,7	750	27	4,0 (2,2)
Saab V-4	1967 bis 1968	960	10	36	1,6	3,2	500	24	2,0 (1,1)
Volkswagen 1100 und 1600	1962 bis 1966	820 bis 1050	27	53	3,0	3,8	1020	30	4,4 (2,4)
Ford 17 M	1961 bis 1965	1010 bis 1060	10	40	1,7	2,4	650	20	2,9 (1,6)
Opel Rekord 1700	1962 bis 1966	1020 bis 1120	12	46	2,1	2,7	640	23	3,0 (1,7)
Fiat 850 S	1968	760	3	36	1,7	2,2	720	16	2,8 (1,6)
Mittelwert (760 bis 1250 kg)	ungereinigt	1050	95	46	2,3	3,0	790	26	3,6 (2,0)
Mittelwert (1460 bis 2560 kg)	ungereinigt	1800	10	114	3,0	3,5	500	48	3,6 (2,0)

1) als Hexan mit NDIR gemessen; 2) Wert = 1,8 x HC als Hexan (Hexan-Werte in Klammern angegeben); ECE = Economic Commission for Europe.

**Bild VI.4-3:** Untersuchungsergebnisse des Studsvik-Labors an 105 ungereinigten Fahrzeugen im US- und ECE-Test gemessen, nach [1099].

veau ungereinigter Fahrzeuge. An diesem Niveau waren die geplanten Grenzwerte sowie deren spätere Absenkungsstufen auszurichten.

In Schweden erfolgten die Arbeiten zur Ermittlung dieser "baseline" ebenfalls in Studsvik [1096]. In Bild VI.4-1 sind die gefundenen Emissionen eines mittleren ungereinigten Fahrzeugs, bezogen auf

den verbrauchten Kraftstoff wiedergegeben, wobei zum Vergleich auch die entsprechenden Werte eines Fahrzeugs mit Diesel-Motor genannt werden. Die Emissionen eines mittleren ungereinigten Fahrzeugs während repräsentativer Stadtfahrt (ECE-Fahrzyklus) sind in Bild VI.4-2 gezeigt.

Da sich zu dieser Zeit die europäischen Diskussionen über Emissionskontrollgesetze für Kraftfahrzeuge stark an den USA-Entwicklungen (speziell Kalifornien) orientierten, war auch der Kalifornien-Fahrzyklus Gegenstand von vergleichenden Untersuchungen. Die dabei



um  $\approx 20\%$  im CO und  $\approx 7\%$  im HC [102]. Vergleichende Untersuchungen in Großbritannien ergaben bei einer Leerlauf-CO-Verringerung von 6.7 auf 4.6 Vol.-% (31 %) Verbesserungen im HC um 8 % und im CO um 7 % [102]. Die Abhängigkeit des ECE-Testergebnisses von der Leerlauf-CO-Einstellung ist in Bild VI.4-5 wiedergegeben.

Eine Untersuchung an den in diesem Bild zitierten 4 Fahrzeugen ergab, daß die im Leerlauf emittierte HC- und CO-Masse etwa 40 bis 60 % der Emissionen im mittleren Stadtfahrbetrieb ausmachten. Bei Fahrzeugen mit Abgasreinigung war dieser Anteil verhältnismäßig klein [1104].

Bezüglich der Motorerwärmung nach dem Kaltstart zeigten Studsvik-Untersuchungen, daß ein übliches schwedisches Fahrzeug bei Start von 0 °C aus und anschließender Motorerwärmung auf normale Betriebstemperatur im Leerlauf, CO-Emissionen lieferte, die

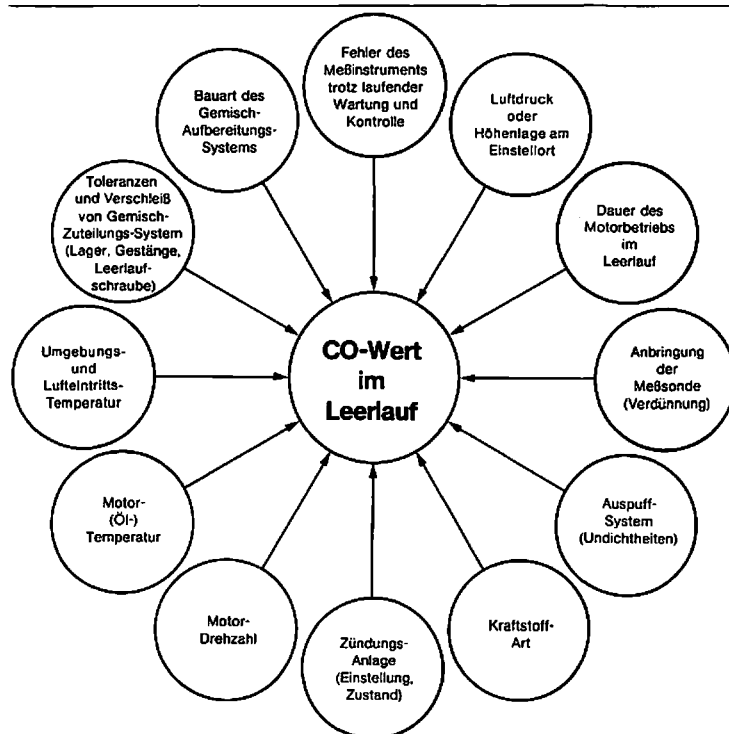
Erwärmung von 0 °C auf ... °C	CO-Emission		HC-Emission	
	[g]	entspricht einer Fahrstrecke [km]	(Hexan) [g]	entspricht einer Fahrstrecke [km]
20	60	1,5	19	10
40	110	2,5	29	15
60	150	3,5	35	18
80	185	4,5	39	20

etwa 5 km Stadtfahrt mit betriebswarmem Motor entsprachen. Wurden HC-Emissionen betrachtet, entsprach der obengenannte Kaltstart etwa 20 Stadtfahrt-Kilometern mit warmem Motor. Bild VI.4-6 zeigt Details dieser Ergebnisse. Wenn das Warmlaufen nach dem Kaltstart durch Fahren erfolgte, betrug die Warmlaufzeit nur 1/3 bis 1/2 der Warmlaufzeit durch

**Bild VI.4-6:** Emissionen von HC und CO bei Warmlaufen des Motors im Leerlauf von 0 °C auf verschiedene Temperaturen, nach [1105].

Leerlauf, wodurch die CO- und HC-Emissionen entsprechend gesenkt werden konnten [1104].

#### 4.3 Überprüfung der Reproduzierbarkeit von Leerlauf-CO-Einstellungen



**Bild VI.4-7:** Einflüsse auf die Leerlauf-CO-Einstellung und deren Reproduzierbarkeit.

Studsvik-Untersuchungen hatten auch gezeigt, daß Meßwerte an ein und demselben Fahrzeug bei aufeinanderfolgenden Messungen stark streuen konnten [1106]. In Bild VI.4-7 sind die den Leerlauf-CO-Wert und seine Reproduzierbarkeit beeinflussenden Faktoren dargestellt. Da Teile-Fertigungstoleranzen (die zu schwankenden Kraftstoff/Luftverhältnissen führen) ein Hauptfaktor für die Stabilität des Leerlauf-CO-Wertes sind, bestanden die ersten Schritte zur Abgasreinigung in Europa unter anderem aus einer Einengung dieser Fertigungstoleranzen. Die Kosten einer

Vergasereinstellung wurden von der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums im Mittel auf 20 Skr. pro Fahrzeug und Jahr geschätzt, wobei man erwartete, daß sich diese Kosten durch den eingesparten Kraftstoff wieder ausgleichen würden.

Außer den obengenannten Studsvik-Untersuchungen lieferten auch die im Rahmen der Periodischen Inspektionen bei der "AB Svensk Bilprovning" durchgeführten Messungen Aufschluß über das Leerlauf-CO-Verhalten einer großen Fahrzeugzahl. CO-Messungen der "AB Svensk Bilprovning" an 5.366 Fahrzeugen bei Anlieferung und nach Einstellung

Bereich	CO-Konzentration [Vol.-%]		
	≤ 5,5	5,6 bis 7,0	≥ 7,1
<b>Bei Anlieferung</b> (Mittelwert: 4,5 Vol. %)	63,0	11,7	25,3
<b>Nach Einstellung</b> (Mittelwert: 3,4 Vol. %)	90,9	3,1	6,0

**Bild VI. 4-8:** Verteilung der Leerlauf-CO-Meßwerte bei 5366 durch die „AB Svensk Bilprovning“ untersuchten Fahrzeugen im Anlieferungszustand und nach Einstellung, nach [1107].

(3. Quartal 1971) sind in Bild VI.4-8 gezeigt. Davon lagen bei Anlieferung 1.516 Fahrzeuge über 5.5 Vol.-% CO, wobei 1.409 Fahrzeuge neu eingestellt wurden. Der Mittelwert der neu eingestellten Motoren betrug vor Einstellung 8.0 Vol.-% und nach der Einstellung 4.2 Vol.-% CO. Damit verbesserten sich die Fahrzeuge im Leerlauf-CO um 48 % [1107].

#### 4.4 Untersuchungen über den Einfluß von Veränderungen an Abgasreinigungsanlagen von Pkw auf deren Emissionsverhalten

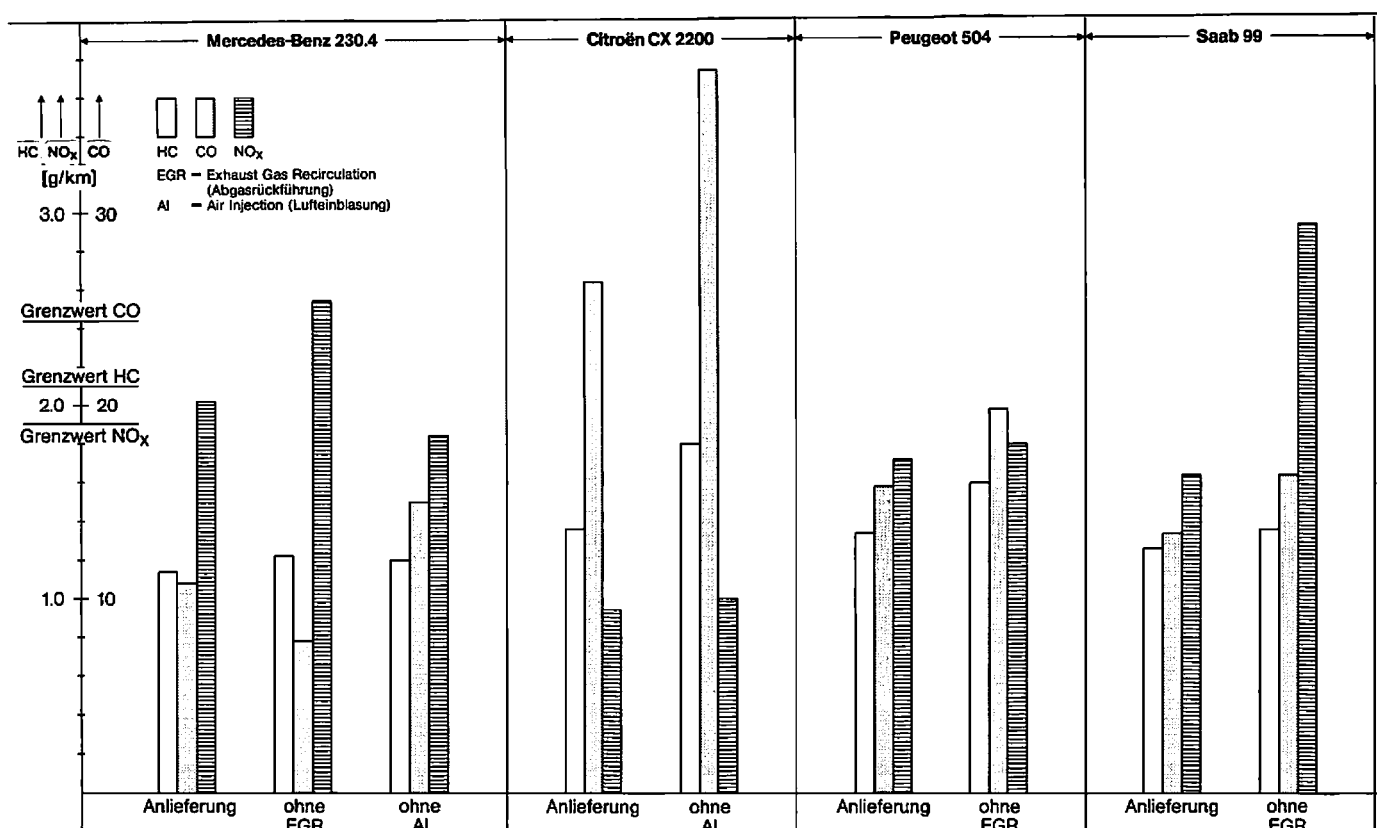
Da mit Beginn des Modelljahres 1976 in Schweden Abgasvorschriften einsetzten, die mit denen des US-Modelljahres 1973 weitgehend identisch waren, wurden erstmals auch Fahrzeuge auf den Markt gebracht, die mit kraftstoffverbrauchserhöhenden und lei-

Fahrzeug	Änderung im Abgasreinigungssystem
Mercedes-Benz 230.4	a) ohne Lufteinblasung b) ohne „dashpot“ c) ohne Abgasrückführung d) 5 grd. frühere Zündung e) a) bis d) gemeinsam
Citroën CX 2200	a) ohne Lufteinblasung b) 5 grd. frühere Zündung
Toyota Corona (autom. Getriebe)	a) ohne Frühverstellung b) ohne „dashpot“ c) Unterdruck für Zündverteiler direkt vom Vergaser d) 5 grd. frühere Zündung
Peugeot 104 GL	a) ohne „dashpot“ b) 5 grd. frühere Zündung
Peugeot 504	a) 5 grd. frühere Zündung b) keine erhöhte Leerlaufdrehzahl c) keine Abgasrückführung
Renault 16 TS	a) ohne „dashpot“ b) ohne Unterdruck-Frühverstellung während des gesamten Tests c) 5 grd. frühere Zündung
Renault 12 TL	a) ohne „dashpot“ b) 5 grd. frühere Zündung
Saab 99 (autom. Getriebe)	a) ohne Abgasrückführung b) 5 grd. frühere Zündung
Volvo 244	a) ohne „dashpot“ b) 5 grd. frühere Zündung
Volvo 242 (autom. Getriebe)	a) ohne „dashpot“ b) 5 grd. frühere Zündung

**Bild VI.4-9:** Testfahrzeuge mit Reihenfolge der Überprüfung des Einflusses von Änderungen am Abgasreinigungssystem auf die Schadstoffemission, nach [1109].

stungssenkenden Abgasreinigungseinrichtungen (z. B. Lufteinblasung zur HC- und CO-Senkung sowie Abgasrückführung zur NO<sub>x</sub>-Verringerung) ausgerüstet waren.

Daher sah man behördlicherseits die Gefahr, daß Beschädigungen an den Abgasreinigungsanlagen oder vernachlässigte Wartung dieser Emissionskontrollsysteme von Kunden nicht beanstandet würden, ja daß sogar willentliches Außerbetriebsetzen von Teilen des Systems auftreten könnte. Aus diesem Grund erhielt das Abgaslabor der "AB Atomenergi" in Studsvik den Auftrag, an Modelljahr 1976-Fahrzeugen Fehleinstellungen und Fehlfunktionen der neuartigen Systeme zu simulieren und den Einfluß dieser Eingriffe auf die Emissionen der einzelnen Schadstoffkomponenten herauszufinden. Die Arbeiten wurden am 10.03.1977 in [1108] veröffentlicht.



**Bild VI.4-10:** Vergleich der Abgasemissionen von Modelljahr 1976 – Fahrzeugen bei Fehlfunktion von Teilen der Abgasreinigungsanlage, getestet nach FTP-72, d. h. der schwedischen Vorschrift F40 – 1974, nach [1110].

Maximale Emissionszunahme [%]					
(Grenzwerte: HC = 2.1 g/km; CO = 24.2 g/km; NO <sub>x</sub> = 1.9 g/km)					
ohne EGR <sup>1)</sup>	5 grd. frühere Zündung	ohne AI <sup>2)</sup>		ohne „dashpot“ <sup>3)</sup>	
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	HC	CO	HC	CO
76%	62%	33%	38%	36%	36%
Saab 99 1.64 → 2.89 (g/km)	Volvo 244 1.79 → 2.90 (g/km)	Citroën CX 2200 1.35 → 1.80 (g/km)	Citroën CX 2200 26.26 → 37.38 (g/km)	Renault 12 TL 1.57 → 2.13 (g/km)	Mercedes 230.4 10.90 → 14.85 (g/km)

1) EGR = Exhaust Gas Recirculation; 2) AI = Air Injection; 3) „dashpot“ = Drosselklappen-Schließdämpfer

**Bild VI.4-11:** Maximale Emissionsveränderungen, gemessen nach F 40-1974 an Modelljahr 1976-Fahrzeugen bei Fehlfunktion von Komponenten des Abgasreinigungssystems nach [1110].

Das Untersuchungsprogramm bestand aus Abgastest-Meßreihen, die an 10 verschiedenen Fahrzeugen des Modelljahres 1976 sowie an einem Fahrzeug, das zur Erfüllung der 1975er Kalifornien-Vorschriften ausgerüstet war, durchgeführt wurden. Die

Tests verliefen beim Mercedes-Benz 230.4 in der Reihenfolge:

- komplette Abgasreinigungssystem in Funktion
- Teil nach Teil außer Funktion
- alle Teile gemeinsam außer Funktion

In Bild VI.4-9 sind die je Fahrzeug durchgeführten Maßnahmen zusammengestellt. Die Testmethode entsprach F40-1974, d. h. der USA-Methode des US-Modelljahres 1973. Von den Fahrzeugen, die alle unterschiedliche Abgasreinigungsanlagen besaßen, war der Mercedes-Benz 230.4 (mit 2.3 l/4-Zyl.-Vergasermotor) mit dem aufwendigsten aller Systeme ausgerüstet. Die Wagen hatten zum Testzeitpunkt zwischen 1.000 und 6.000 km (Mercedes-Benz 230.4: 4.000 km) zurückgelegt. In Bild VI.4-10 sind 4 Wagen bei Aus-

fall der Abgasrückführung oder der Lufteinblasung verglichen. Bild VI.4-11 faßt die bei den übrigen Untersuchungen aufgetretenen maximalen Emissionsverschlechterungen zusammen.

#### 5. Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen mit Otto-Motor der Modelljahre 1971 bis 1976 in Barkaby und Studsvik ("Surveillance-Tests")

Ähnlich wie in anderen Ländern war die Überprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen auch in Schweden anfänglich nur auf eine Kontrolle des Leerlauf-CO-Gehaltes beschränkt. Im Jahre 1974 wurde das TSV jedoch von der Regierung angewiesen, Nachprüfungen mittels kompletter Abgasprüfungen einzuleiten, um die Wirksamkeit der schwedischen Emissionskontrollgesetze nachzuprüfen. Das TSV beauftragte daraufhin am 04.11.1974 die "AB Svensk Bilprovning" mit der Durchführung dieser Arbeiten {1111}.

Die Tests wurden sowohl im Abgaslabor in Barkaby (Modelljahr 1971-Fahrzeuge) wie auch im Studsvik-Labor durchgeführt. Die Ergebnisse, die sich in den wesentlichen Aussagen decken, wurden im Falle der 1972 begonnenen Studsvik-Untersuchungen in drei technischen Teilberichten {1112}, {1113} und {1114} sowie in einem Abschlußbericht {1115} veröffentlicht.

Die von den Fahrzeugbesitzern ausgeliehenen Fahrzeuge wurden jeweils im Anschluß an den offiziellen Zulassungstest, der im Anlieferungszustand gefahren wurde (lediglich defekte Auspuffanlagen wurden zuvor repariert), einer HC- und CO-Messung im Leerlauf unterzogen. Danach wurde der Zulassungstest als Heißstarttest wiederholt, wobei eine erneute Leerlaufmessung der beiden obengenannten Schadstoffkomponenten erfolgte.

Ergänzend zu den Abgasmessungen wurden folgende Informationen notiert:

- Angaben bezüglich Häufigkeit und Ort der Wartungen
- Messung des Zündzeitpunktes
- Messung des Schließwinkels

Da die ersten Messungen im Jahre 1972 bei 300 getesteten Fahrzeugen der Modelljahre 1971 und 1972 zeigten, daß  $\approx 30\%$  der Wagen die gültigen Standards überschritten und sich dieser Anteil in weiteren Untersuchungen Anfang 1975 bei 140 Fahrzeugen der Modelljahre 1972 bis 1975 auf  $\approx 48\%$  erhöht hatte, tauchten erstmals Befürchtungen auf, daß die schwedischen Behörden ein Recall-System in Erwägung ziehen könnten {1116}.

##### 5.1 Ergebnisse und Folgen der "Surveillance-Tests"

Die Ergebnisse der Nachprüftests wurden aus den Angaben in {1112}, {1113}, {1114} und {1115} herausgearbeitet und in komprimierter Form in Bild VI.5-1, Bild VI.5-2 und Bild VI.5-3 wiedergegeben. Die Fahrzeuge der Modelljahre 1971 bis 1975 unterlagen der ECE-Gesetzgebung, während die Fahrzeuge des Modelljahres 1976 erstmals nach dem

Modelljahr	Anzahl gete- steter Fzge.	In 1 oder 2 Komponenten nicht bestanden		ECE-R 15 Kaltstarttest				Verhältnis: Kaltstart Warmstart		Leerlauf- Emissionen			Lauf- strecke
				HC-Emission		CO-Emission		HC x̄	CO x̄	HC x̄ (ppm)	CO x̄ (Vol. %)	Anzahl > 4,5 Vol. % CO	
		x̄ (g/km)	Anzahl > 2,2 g/km	x̄ (g/km)	Anzahl > 45,0 g/km								
1971	37	25	68	2,12	12	57,3	25	1,48	1,45	350	5,3	21	72 710
1972	6	3	—	1,68	0	47,4	3	—	—	340	5,1	4	43 480
1973	12	5	42	1,77	1	42,6	5	1,30	1,20	300	3,9	5	43 880
1974	5	2	—	1,70	1	47,1	2	—	—	290	4,6	1	21 950
Gesamt (Mittelwert) <sup>1)</sup>	60	35	58	1,97	14	52,5	35	1,44 <sup>2)</sup>	1,39 <sup>2)</sup>	330	4,9	31	—

1) nach Anzahl getesteter Fahrzeuge gewichtet. 2) ohne 1972 und 1974 berechnet.

**Bild VI.5-1:** Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen der Modelljahre 1971 bis 1974 mittels des für 1971 bis 1975 in Schweden gültigen ECE-R15-Verfahrens, entsprechend der schwedischen Bestimmung F 23-1969, nach [1112 bis 1115].

US-Modelljahr-1973-Testverfahren geprüft wurden.

Aufgrund des schlechten Untersuchungsergebnisses regte die "Sveriges Bilindustri- och Bilgrossistförening" (schwedischer Autohersteller- und Autohändlerverband) einen Dialog mit den schwedischen Behörden an. In einem August-Seminar 1976 schlug der obengenannte Verband anlässlich der Diskussion von § 112 bis § 115 die Bildung einer gemeinsamen Steuergruppe zur Analyse der Nachprüfsergebnisse und zur Planung weiter zu ergreifender Maßnahmen vor § 116.

Das TSV etablierte jedoch eine nur aus Behördenvertretern bestehende Arbeitsgruppe, und der Verkehrsminister initiierte die Bildung eines Komitees, das Möglichkeiten einer Verschärfung der Typprüfung und "enforcement"-Maßnahmen überlegen sollte (Sanktionen, Recall etc.). Der obengenannte Verband durfte einen Repräsentanten in dieses Komitee entsenden. Darüber hinaus gab das Landwirtschaftsministerium seine Absicht bekannt, ein eigenes Komitee zu gründen, das sich mit Langzeit-Zielen hinsichtlich des Luftverunreinigungsproblems durch Emissionen aus Automobilen befassen sollte § 116.

## 5.2 Periodische Inspektionen der "AB Svensk Bilprovning"

Die "AB Svensk Bilprovning" führt - vergleichbar mit dem deutschen TÜV - die periodischen Inspektionen aller im Verkehr befindlichen Kraftfahrzeuge durch. Die anlässlich dieser Überprüfungen (deren Ablaufschema in Bild VII.2-3 dargestellt ist) gefundenen Mängel werden unter dem Titel "Weak Points of Cars" ("Schwachstellen an Fahrzeugen") veröffentlicht. Ein solcher Bericht § 119 wurde für die Modelljahre 1970, 1972 und 1974 auf emissionsrelevante Beanstandungen hin ausgewertet. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Bild VI.5-4 zusammengefaßt.

Hersteller/Typ	Anzahl getesteter Fzge.	In 1 oder 2 Komponenten nicht bestanden		ECE-15 Kaltstarttest				Verhältnis Kaltstart Warmstart		Leertlauf- Emissionen			Lauf- strecke  x̄ (km)	Wartung <sup>1)</sup>		Zündzeitpunkt Abweichung von Herstellerangabe > 2 grd.		Schließwinkel Abweichung von Herstellerangabe > 2 grd.	
		Anzahl	%	HC-Emissionen		CO-Emissionen		HC x̄	CO x̄	HC x̄ (ppm)	CO x̄ (Vol. %)	Anzahl >4,5 Vol.% CO		in Vertrags- Werkstatt	in sonstiger Werkstatt	nach früh	nach spät	nach früh	nach spät
				x̄ (g/km)	Anzahl > 2,2 g/km	x̄ (g/km)	Anzahl > 45,0 g/km												
BMW 1602	21	1	5	1,66	0	29,4	1	1,24	1,35	440	4,4	8	8 970	12	1	0	0	3	4
Citroën GS	21	15	71	2,29	12	45,3	11	1,49	1,42	640	5,0	12	13 620	16	1	1	4	2	1
Fiat 132	13	9	69	2,03	3	60,9	9	1,38	1,24	460	6,1	9	9 200	7	2	9	1	2	1
Ford 1600 L	52	23	44	1,71	4	44,5	23	1,34	1,70	310	3,8	18	10 340	34	1	9	0	2	7
Opel Rekord 1900	31	5	16	1,36	1	34,4	4	1,23	1,23	280	4,6	13	10 960	21	5	2	0	3	1
Peugeot 504	19	1	5	0,98	0	28,9	1	1,16	1,49	280	3,9	5	10 600	16	2	2	1	8	4
Saab V 4	47	1	2	1,61	0	29,8	1	1,22	1,27	350	3,9	16	8 190	41	3	2	3	4	0
Saab 99	52	24	46	2,25	13	45,1	22	1,79	1,52	340	5,1	28	11 660	37	1	7	6	5	2
Toyota Corolla	17	0	0	1,30	0	14,7	0	1,09	1,01	400	4,3	8	7 460	13	2	1	2	3	1
VW Golf LS	53	14	26	1,44	3	37,7	13	1,35	1,39	320	3,8	16	12 220	40	0	16	3	0	0
Volvo 242/244	53	13	25	1,31	1	35,0	13	1,14	1,76	220	2,9	10	12 190	22	0	9	9	3	2
Gesamt (Mittelwert) <sup>2)</sup>	379	106	28	1,64	37	37,3	98	1,34	1,46	340	4,1	143	—	93,5 %	6,5 %	> 2 grd. falsch: 24 %		> 2 grd. falsch: 16 %	

1) nur die sich aus der Summe beider Zahlen ergebende Anzahl Fahrzeughalter wurde befragt.

2) nach Anzahl getesteter Fahrzeuge gewichtet;    grd = Grad.

1) nur die sich aus der Summe beider Zahlen ergebende Anzahl Fahrzeughalter wurde befragt. 2) nach Anzahl getesteter Fahrzeuge gewichtet; grd = Grad.

**Bild VI.5-2:** Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen des Modelljahres 1975 mittels des für 1971 bis 1975 in Schweden gültigen ECE R 15-Verfahrens, entsprechend der schwedischen Bestimmung F 23-1969, nach [1112 bis 1115].



Hersteller/Typ	Anzahl getesteter Fzge.	In 1 oder mehr Komponenten nicht bestanden		FTP-72 Kaltstarttest						Verhältnis Kaltstart Warmstart			Leerlauf Emissionen			Lauf- strecke	Wartung 4)		Zündzeitpunkt Abweichung von Herstellerangabe > 2 grd.		Schließwinkel Abweichung von Herstellerangabe > 2 grd.	
				HC-Emission		CO-Emission		NO <sub>x</sub> -Emission		HC x̄	CO x̄	NO <sub>x</sub> x̄	HC x̄ (ppm)	CO x̄ (Vol. %)	Anzahl > 4,5 Vol. % CO		in Vertrags- Werkstatt	in sonstiger Werkstatt	nach früh	nach spät	nach früh	nach spät
		x̄ (g/km)	Anzahl > 2,1 g/km	x̄ (g/km)	Anzahl > 24,2 g/km	x̄ (g/km)	Anzahl > 1,9 g/km															
Alfa Romeo Alfasud	27	27 1) 27 2)	100 1) 100 2)	2,92	27	29,9	22	1,39	0	1,44	1,48	0,76	230	1,7	1	5 680	27	0	1	4	2	0
BMW 316/320	30	28 30	93 100	2,06	15	18,3	5	1,96	19	1,33	1,76	0,80	200	2,6	6	5 230	28	0	1	12	0	0
Fiat 128	29	8 16	28 55	1,90	6	13,0	1	1,36	3	1,28	1,75	0,72	240	2,4	5	4 780	25	2	5	2	0	4
Fiat 131	12	4 6	33 50	1,92	3	19,1	2	1,40	1	1,32	1,62	0,74	400	3,4	3	4 500	11	0	3	0	0	1
Ford Granada 2600	20	16 17	80 85	2,18	9	27,3	15	1,49	1	1,36	1,63	0,80	130	3,6	6	6 660	17	0	1	1	2	0
Ford Taunus 1600	44	23 29	52 66	1,98	12	24,7	21	1,02	0	1,25	1,13	0,83	240	4,7	21	6 700	42	0	0	0	0	2
Mazda 818	44	18 31	41 70	2,12	17	14,3	2	1,35	1	1,58	1,68	0,84	370	4,8	24	6 540	40	2	1	3	2	2
Opel Kadett	26	13 17	50 65	1,83	3	11,3	0	1,94	13	1,16	1,37	0,85	200	1,9	1	4 420	24	1	0	6	1	0
Opel Rekord	26	18 21	69 81	2,00	9	26,5	17	1,06	0	1,26	1,63	0,74	160	4,0	13	5 090	24	1	3	0	6	1
Renault 12	34	16 24	47 71	1,94	10	22,0	9	1,44	3	1,30	1,44	0,78	310	4,3	15	5 080	29	1	4	4	3	0
Saab 96	45	43 45	96 100	2,63	41	22,9	16	1,70	11	1,28	1,51	0,88	170	2,6	8	6 300	37	3	6	3	4	1
Saab 99	43	37 42	86 98	2,72	34	22,5	20	1,64	7	1,71	1,84	0,74	240	3,7	15	5 600	38	0	5	3	1	0
Simca 1508	46	35 41	76 89	2,24	29	25,7	25	1,18	0	1,10	1,14	0,94	360	3,0	5	6 940	42	0	0	0	—	—
Toyota Corolla	50	3 14	6 28	1,76	3	8,8	0	1,55	0	1,24	1,14	0,96	280	2,3	4	4 390	40	3	1	4	7	0
VAZ 1500	33	21 29	64 88	2,30	17	23,3	16	1,26	0	1,31	1,28	0,83	340	4,1	16	5 880	33	0	1	1	0	7
VW Golf LS	44	3 7	7 16	1,36	2	11,3	1	1,42	0	1,03	1,83	0,78	120	0,3	0	6 510	39	1	11	0	1	0
Volvo 242/ 244/245	44	31 38	70 86	1,90	17	17,9	12	1,72	12	1,24	1,57	0,72	280	2,8	6	5 950	39	0	6	10	3	0
Andere Fzge.	50	39 —	78 —	2,42	36	22,8	21	1,54	9	—	—	—	240	3,4	13	1040 bis 2920 10680 bis 20180	36	3	8	8	5	2
Gesamt (Mittelwert) 3) 5)	647	383 434	59 73	2,10	290	19,5	205	1,46	80	1,30	1,50	0,82	250	3,1	162	—	97 %	3 %	> 2 grd. falsch: 18 %		> 2 grd. falsch: 9 %	
1) ohne Verschlechterungsfaktor. 2) mit Verschlechterungsfaktor für alle 3 Schadstoffkomponenten. 3) nach Anzahl getesteter Fahrzeuge gewichtet. 4) nur die sich aus der Summe beider Zahlen ergebende Anzahl Fahrzeugbesitzer wurde befragt. 5) ohne „Andere Fahrzeuge“; grd = Grad.																						

1) ohne Verschlechterungsfaktor. 2) mit Verschlechterungsfaktor für alle 3 Schadstoffkomponenten. 3) nach Anzahl getesteter Fahrzeuge gewichtet. 4) nur die sich aus der Summe beider Zahlen ergebende Anzahl Fahrzeugbesitzer wurde befragt. 5) ohne „Andere Fahrzeuge“; grd = Grad.

**Bild VI.5-3:** Nachprüfung von im Verkehr befindlichen Fahrzeugen des Modelljahres 1976 mittels der ab 1976 in Schweden gültigen USA Federal Test Procedure (FTP)-72, entsprechend der schwedischen Bestimmung F40-1973, nach [1112 bis 1115].

Hersteller	Typ	Modelljahr 1970 Defekte (%)			Typ	Modelljahr 1972 Defekte (%)			Typ	Modelljahr 1974 Defekte (%)		
		undichter Auspuß	zu hohes Leerlauf-CO	fehlende/defekte Einspritzpumpen- Plombierung		undichter Auspuß	zu hohes Leerlauf-CO	fehlende/defekte Einspritzpumpen- Plombierung		undichter Auspuß	zu hohes Leerlauf-CO	fehlende/defekte Einspritzpumpen- Plombierung
Alfa Romeo	—	—	—	—	—	—	—	—	Alfasud	2,2	2,2	—
Audi	—	—	—	—	—	—	—	—	80 L	—	—	—
Audi	100 LS	12,8	—	—	100 LS	6,7	0	—	100 LS	12,5	5,0	—
Austin	—	—	—	—	—	—	—	—	Alegro 1300, 1500	3,5	5,0	—
Austin	Mini	10,4	7,1	—	Mini	6,4	6,8	—	—	—	—	—
Austin	Mini 1750	9,7	8,3	—	Mini 1750	6,0	6,8	—	Maxi 1750	4,0	9,1	—
BMW	1602	9,0	0	—	1602	6,3	0	—	1602	0	0	—
BMW	2002	10,9	0	—	2002	5,4	0	—	2002	5,2	2,6	—
Citroën	—	—	—	—	GS	9,9	5,7	—	GS	3,6	13,5	—
Citroën	DS	10,0	0	—	DS	8,7	9,2	—	DS	11,2	3,1	—
DAF	66	11,9	6,3	—	66	12,0	0	—	66	0	3,1	—
Datsun	—	—	—	—	—	—	—	—	100 A	3,0	0	—
Datsun	—	—	—	—	120 Y	0	0	—	120 Y	7,4	0	—
Fiat	—	—	—	—	127	0	0	—	127	0	0	—
Fiat	128	11,4	—	—	128	8,7	0	—	128	2,5	0	—
Fiat	124 Spezial	15,1	—	—	124 Spezial	9,9	0	—	—	—	—	—
Fiat	124 Spezial	15,0	—	—	125 Spezial	9,5	4,4	—	—	—	—	—
Ford	Escort 1100	10,6	0	—	Escort 1300	7,0	0	—	Escort 1300	5,1	0	—
Ford	—	—	—	—	Taurus 1600	4,0	0	—	Taurus 1600	0	0	—
Ford	17 M 1700 S	9,7	0	—	17 M 1700 S	5,3	0	—	—	—	—	—
Ford	—	—	—	—	Consul 2000	13,4	0	—	Consul 2000	19,3	0	—
Ford	—	—	—	—	Granada 2300	6,6	8,2	—	—	—	—	—
Honda	—	—	—	—	—	—	—	—	Civic	7,1	0	—
Mazda	—	—	—	—	—	—	—	—	1300	0	0	—
Mazda	—	—	—	—	616 Sedan	7,1	0	—	616 Sedan	2,2	5,9	—
Mazda	—	—	—	—	—	—	—	—	929	6,0	2,7	—
Mercedes Benz	200	8,2	12,7	—	200	8,2	13,3	—	200	4,3	19,3	—
Mercedes Benz	200 D	10,7	—	9,5	200 D	6,7	—	15,7	200 D	3,2	—	16,1
Opel	Kadett 1200	12,2	0	—	Kadett 1200	15,8	0	—	Kadett 1200	2,6	0	—
Opel	—	—	—	—	Ascona	10,0	0	—	Ascona	4,9	0	—
Opel	Rekord 1900	9,6	0	—	Rekord 1900	8,4	0	—	Rekord 1900	6,8	2,4	—
Opel	Commodore	12,7	0	—	Commodore	11,0	5,5	—	Commodore	10,3	7,1	—
Opel	—	—	—	—	—	—	—	—	Diesel	0	—	9,1
Peugeot	—	—	—	—	—	—	—	—	104	0	4,3	—
Peugeot	204	6,3	0	—	204	5,1	0	—	—	—	—	—
Peugeot	304	0	0	—	304	0	0	—	304	5,0	4,3	—
Peugeot	504	8,1	0	—	504	6,3	0	—	504	5,7	3,9	—
Peugeot	—	—	—	—	504 Diesel	6,1	—	10,7	504 Diesel	2,0	—	14,7
Renault	4	11,9	0	—	4	10,0	0	—	4	6,1	0	—
Renault	—	—	—	—	—	—	—	—	5	2,0	3,4	—
Renault	6	11,5	0	—	6	7,8	0	—	—	—	—	—
Renault	12	9,5	0	—	12	6,9	0	—	12 TS	2,2	0	—
Renault	16	13,5	0	—	16	9,5	0	—	16	2,9	0	—
Saab	96	6,3	0	—	96	6,6	0	—	96	3,2	0	—
Saab	99-2.0	14,0	0	—	99-2.0	15,4	0	—	99-2.0	8,9	3,9	—
Saab	Combi Coupé	—	—	—	Combi Coupé	—	—	—	Combi Coupé	8,7	3,8	—
Saab	—	—	—	—	99 EMS	10,9	14,1	—	99 EMS	9,2	11,5	—
Simca	1100	10,4	—	—	1100	9,0	—	—	1100	2,0	3,2	—
Toyota	—	—	—	—	1200	0	0	—	1200	0	0	—
Toyota	—	—	—	—	1600	0	0	—	1600	3,7	2,5	—
Vauxhall	Viva	8,4	0	—	Viva	0	0	—	—	—	—	—
VAZ (UdSSR)	—	—	—	—	—	—	—	—	1200, 1500	—	3,5	—
Volkswagen	1300	8,0	0	Kraftstoffsystem	1302 S	7,2	0	—	1303 S	2,5	0	—
	1600	8,2	9,1		1600	6,4	0	—	—	—	—	—
	—	—	—		—	—	—	—	Passat L	13,4	0	—
	—	—	—		K 70	8,4	5,4	—	K 70	6,3	4,0	—
Volvo	142 DL	7,4	8,6	—	142 DL	5,5	14,5	—	142 DL	4,1	7,1	—
Volvo	144 DL	8,9	10,2	—	144 DL	7,1	15,9	—	144 DL	4,8	9,1	—
Volvo	—	—	—	—	142 GL	7,6	0	—	142 GL	4,2	2,5	—
Volvo	164, 160 hp DIN	12,3	16,4	—	164, 160 hp DIN	9,9	9,5	—	164, 160 hp DIN	2,6	3,9	—

**Bild VI.5-4:** Von „AB Svensk Bilprovning“ anlässlich der Periodischen Inspektionen an Fahrzeugen der Modelljahre 1970, 1972, 1974 festgestellte Mängel, die Einfluss auf das Emissionsverhalten haben, nach [1119].

## 6. Ausblicke und Prognosen für die Jahre 1980 bis 2000

Eingedenk der Tatsache, daß eine bestehende Emissionskontrollgesetzgebung und besonders Bemühungen zu deren Fortschreibung in engem Zusammenhang mit wirtschaftlichen Gegebenheiten der Gegenwart und der Zukunft gesehen werden müssen, seien nachfolgend anhand von schwedischen Studien mögliche künftige Tendenzen auf den Gebieten Wirtschaftsentwicklung und Einsatz sowie Reglementierung des Kraftfahrzeuges untersucht.

Der Umfang an Forderungen, den Automobilhersteller zwischen den Jahren 1980 und 2000 werden erfüllen müssen, hängt von Entwicklungen auf verschiedenen Gebieten ab. Um Abschätzungen bezüglich dieser Zukunft machen zu können, hat eine erste Arbeitsgruppe 3 Prognosen entworfen, denen sich Schweden gegenübersehen könnte {120}. Für jede Prognose wurden die sich voraussichtlich ergebenden Anforderungen zusammengestellt.

Die 3 Faktoren, die zur Bildung der Prognosen für die nächsten zwei Jahrzehnte dienen, waren:

- die Entwicklung der nationalen Wirtschaft (Gross National Product, GNP)
- der zum Privatverbrauch zur Verfügung stehende Anteil am GNP
- die zukünftige Erdölversorgung

Weiterhin wurden durch eine zweite Arbeitsgruppe die Einflüsse der drei Prognosen auf die Bereiche:

- Privatverkehr
- Öffentlicher Verkehr
- Frachttransport

untersucht. Als Fazit wurden die sich aus dem Zusammenwirken der obengenannten voraussichtlich ergebenden Forderungen an das Kraftfahrzeug bezüglich:

- Kraftstoffverbrauch
- Abgasemission
- Geräusch
- Sicherheit
- Käuferforderungen

zusammengestellt.

### 6.1 Wirtschaftswachstum und Fahrzeuggebrauch

Wirtschaftlicher Fortschritt wird oft an der Entwicklung des Bruttosozialprodukts (GNP) abgelesen. Ein vernünftiger Anstieg des GNP ist hierbei ein Indikator für eine Verbesserung des Lebensstandards, wobei die Erfahrung zeigt, daß von den in einem solchen Fall zunehmend für Privatausgaben zur Verfügung stehenden Anteil der größte Prozentsatz für den Bereich Mobilität (Privatverkehr) verwendet wird.

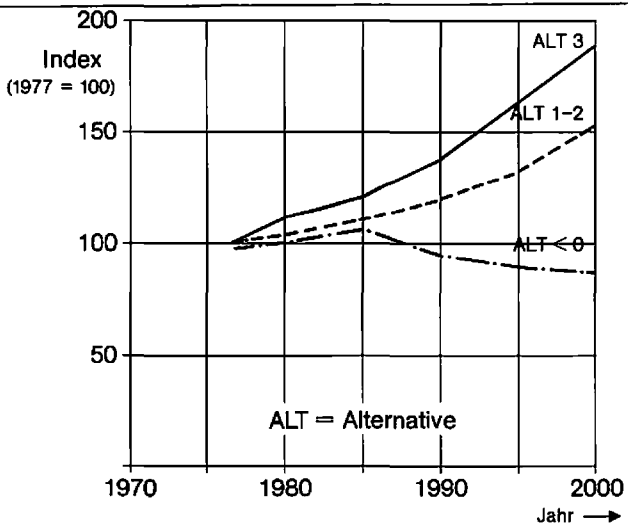
Auch die Zukunft deutet nach [112] auf eine Tendenz zu weiter steigendem Bedarf an Privattransport hin, wobei weder das heutige Privatfahrzeug noch die heutigen öffentlichen Verkehrsmittel diesen Belangen besonders gut Rechnung tragen. Ein Durchbruch auf dem Gebiet des Öffentlichen Transports wird bis zum Ende des 20. Jahrhunderts nicht erwartet. Bei Privat-Pkw wird voraussichtlich bei der (oft halbtags) arbeitenden Bevölkerung ein Trend zu kleineren Fahrzeugen einsetzen.

### 6.2 Prognosen bis zum Jahr 2000

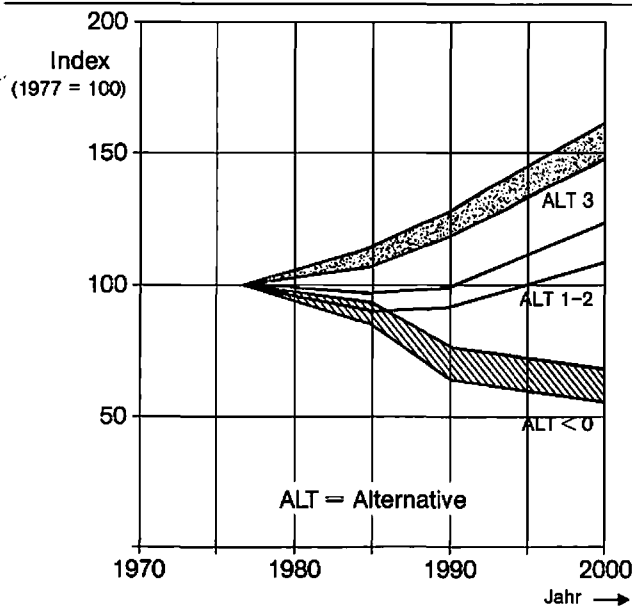
Die drei von der zuvor genannten Arbeitsgruppe entworfenen Prognosen sind zusammen

Prognose Kriterium	0	1-2	3
Wirtschaftliche Entwicklung	schlecht	günstig	sehr günstig
Veränderung des Bruttosozialproduktes	von 1985 bis 2000 zuerst um 1% jährlich steigend, dann umkehrend auf -1,5%	ab 1985 jährlich steigend um 1 bis 2%	bis 1985 = 2% danach: 3%
Beschäftigungslage	relativ hohe Arbeitslosenquote	geringe Arbeitslosenquote	Arbeitskräftemangel, günstige Entwicklung im Export
Jährliche Fahrleistung	von heute 14 000 bis 14 500 km abfallend auf 10 000 km	bis 1985 wie heute, danach bis zum Jahr 2000 fallend auf 12 000 km	Steigende Tendenz zur Stabilisierung auf etwas höherem Niveau als heute
Öllieferungen	sinken 1985 um 20% und 1990 um weitere 20%	bis 1990 konstant, danach Absinken um 20%	auf 1985er Niveau bleibend
Treibstoff-Rationalisierung	Ja	Nach 1990 eventuell	Nein
Entwicklung Treibstoff-Preise (bezogen auf heutigen Geldwert)	heute = 100% 1980 = 150% 1985 = 200% Nach 1990 = 300% *) (*) d. h. ≈ 2,25 DM/l	Etwas niedriger als Prognose 0 Nach 1990 ≈ 1,70 DM/l	75% Erhöhung gegenüber heutigem Niveau Nach 1990 ≈ 1,30 DM/l

**Bild VI.6-1:** Zusammenstellung von drei Prognosen für die wirtschaftliche Entwicklung Schwedens bis zum Jahr 2000 mit Annahmen und Auswirkungen, nach [1122].



**Bild VI.6-2:** Angenommene Wachstumsraten des Bruttosozialproduktes bei verschiedenen wirtschaftlichen Entwicklungen in Schweden, [1123].



**Bild VI.6-3:** Relativer Umfang des privaten Reiseverkehrs bei verschiedenen wirtschaftlichen Entwicklungen in Schweden, [1124].

die Abschätzung der Mobilität, die - wie beschrieben - in engem Zusammenhang mit der in Bild VI.6-2 gezeigten Entwicklung des Bruttosozialproduktes verläuft.

### 6.3 Anforderungen an das Fahrzeug

Obwohl etwas über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehend, seien außer den Emissionskontrollvorschriften und den damit direkt verbundenen Anforderungen bezüglich geringen Kraftstoffverbrauchs auch die erwarteten Auflagen an die Fahrzeuggeräusch-Emiss-

Prognose	0	1-2	3
Kriterium			
Wirtschaftliche Entwicklung	schlecht	günstig	sehr günstig
Kraftstoff-Verbrauch [l/100 km]	1985: 8 1990: 7 2000: 6	8 8 7	8 8 8
Kraftstoff-Rationierung	Rationierung beginnt 1985, ab 1990 stetig verschärft	Rationierung beginnt 1990, danach stetig verschärft	Rationierung möglich ab 1990
Abgas-Emission	bis 1990: bleifreier Kraftstoff muß verfügbar sein. Abgasvorschriften für Diesel- und Otto-Motoren an US-Vorschriften angeglichen, reduzierter Verkehr in Innenstädten. 1990 bis 2000: Zufahrt zu Innenstädten begrenzt, teilweise für Fahrzeuge ganz gesperrt, Erweiterung des öffentlichen Verkehrs in größeren Städten mit Elektrofahrzeugen oder Fahrzeugen mit akzeptablen Emissionen.	bis 1985: bleifreier Kraftstoff muß verfügbar sein, Abgas-Vorschriften für Otto-Motoren wie Kalifornien und Japan, für Diesel-Motoren wie in den 49 US-Bundesstaaten. Zufahrt zu Innenstädten begrenzt. 1985 bis 1990: neue PKW mit Fremdzündungsmotoren für eine Reihe von Kraftstoffen, Zufahrt zu Innenstädten begrenzt, teilweise für Fahrzeuge ganz gesperrt, emissionsfreie öffentliche Verkehrsmittel im Stadtkern. 1990 bis 2000: in unbebauten Gebieten verschärfte Beschränkungen für schwere Diesel-Fahrzeuge, Busse mit neuen Motoren oder anderen Kraftstoffen.	1980 bis 1985: Gleiche Maßnahmen wie unter Prognose 1-2 für 1985 genannt 1985 bis 1990: wie in Prognose 1-2, jedoch strengere Anforderungen an schwere Diesel-Fahrzeuge in bebauten Gebieten. 1990 bis 2000: neu entwickelte PKW mit geringem schädlichen Einfluß auf die Umwelt (andere Kraftstoffarten), Diesel-Motoren in Innenstädten verboten, neue Motoren für Stadtbusse (nicht mehr mit Otto- oder Diesel-Kraftstoff betrieben).
Geräusch-Emission nach ISO - [dB (A)]	PKW 1985: 80 2000: 75 Schwere Fzge. 1990: 80 2000: spezielle Vorschriften für öffentliche Verkehrsmittel in Städten	75 70 80 75	75 70 80 75
Sicherheit	Verstärkte Beachtung des Problems ungeschützter Verkehrsteilnehmer (Fußgänger/Radfahrer), Fahrzeugverbesserungen bezahlt der Käufer, Geschwindigkeitsbeschränkungen, höhere Anforderungen an Führerscheinprüfung, weniger neue Straßen, mehr Beachtung der Betriebs- und Wartungskosten. 1985: Geschwindigkeitsbegrenzungen auf allen Straßen: 90 km/h	Zusätzlich zu den bei Prognose 0 angenommenen Maßnahmen: mehr Mittel für Fußgänger- und Radfahrerschutz, Fuß- und Radwege werden ausgebaut. 1990: Geschwindigkeitsbegrenzung auf allen Straßen: 90 km/h	Außer anderen Maßnahmen: Straßennetz erweitert und verbessert, bessere Information über Straßenzustand und Verkehr, bessere Methoden der Verkehrslenkung und -kontrolle. Keine neuen Geschwindigkeitsbegrenzungen.
Verbraucher-Forderungen	an den PKW: Trotz schlechter wirtschaftlicher Lage werden PKW benötigt, 90% der potentiellen Käufer werden sich einen Neuwagen zu max. 13 575,- DM (30 000 Skr.) leisten können (bezogen auf Geldwert zur Zeit dieser Studie - 1977). an öffentliche Verkehrsmittel: Minibusse für 20 bis 30 Personen sollten zusätzlich eingesetzt werden, sonstige Busse wie heute.	Kaufpreis und Betriebskosten werden zuerst beachtet, Forderungen nach niedrigen Wartungskosten über die ganze Fahrzeug-Lebensdauer. Deutlicher Bedarf an Minibussen, öffentlicher Personverkehr sollte so verbessert werden, daß in ländlichen Gegenden alle 30 Minuten, in der Stadt alle 15 Minuten eine Verbindung möglich ist.	wie Prognose 1-2  wie Prognose 1-2

Bild VI.6-4: Geschätzte Anforderungen an Motorfahrzeuge und den Motorfahrzeugverkehr in Schweden bis zum Jahr 2000, nach [1125].

sion und die Fahrzeugsicherheit in die Überlegungen einbezogen. Dies ist gerechtfertigt, da die Lösung von Geräuschproblemen technische Verbindungen zur Emissionskontrolle und zu Kraftstoffverbrauchsfragen hat (Auspuffauslegung, Hitzeschutzabschirmbleche, Isolier- und Kühlprobleme etc.) und da auch Sicherheitsforderungen technisch eng mit Emissions-, Kraftstoffverbrauchs- und Geräuschfragen verbunden sein können.

Eine Übersicht der Abschätzungen von Anforderungen an das Kraftfahrzeug ist für die drei Prognosen in Bild VI.6-4 wiedergegeben. Die Kraftstoffverbrauchslimitierungen sind aufgrund von Tests nach dem US-Verfahren, wie es auch in Schweden verwendet wird, berechnet.

### 6.4 Schlußfolgerungen

Die Arbeitsgruppe kommt zu folgenden Schlußfolgerungen [1126]:

- Schwedische Hersteller exportieren etwa 70 % ihrer Produktion, während  $\approx 60$  % der in Schweden neu verkauften Fahrzeuge Importe sind. Schweden hat damit eine Fahrzeugindustrie, die in einmaliger Weise vom Export abhängt. Aus diesem Grund dürften alle Handelshemmnisse in Form von spezifischen Forderungen (z. B. nationale Alleingänge auf dem Emissionskontrollgesetzsektor) starke negative Folgen für Schweden haben. Aus diesen praktischen Erwägungen heraus ist es geraten, daß Schweden sich an das Gesetzeswerk des gemeinsamen Marktes anschließt.
- Um Verschwendungen beim Aufstellen neuer Forderungen, die Konstruktionsänderungen nach sich ziehen, zu vermeiden, muß die Regierung das Arbeitsverfahren der Industrie berücksichtigen, nach welchem Änderungen meist dann eingeführt werden, wenn neue Modelle vorgestellt werden. Daher sollten gesetzliche Forderungen nicht zu irgendeinem Termin, sondern zum jeweiligen Modellwechsel (Modelljahresbeginn) gültig werden.
- Bei der Planung von Vorschriften ist der für die Industrie notwendige Zeitbedarf zu berücksichtigen, der erforderlich ist, um in gesicherter Weise den Verbund von Planung - Prototypenbau und -erprobung - Serienvorbereitung und Produktion ablaufen zu lassen.
- Die Umstellung von Produktionsanlagen kann Millionenbeträge verschlingen, und gesetzliche Regelungen mit Auswirkungen auf die Fertigungseinrichtungen sollten daher dem Automobilhersteller rechtzeitig bekanntgegeben werden.
- Die Einführung von neuen Motoren ist nicht einfach zu realisieren. Um ein solches System produktions- und verbrauchergerecht zu gestalten, sind unvergleichlich höhere Anstrengungen nötig als mit "altbekannten" Verfahren. Folgeprobleme, wie Personalschulung und Kundendienstorganisation, müssen ebenfalls gelöst werden, und schließlich soll ein neues System auch noch preislich akzeptabel sein.
- Regelungen sollten "Wirkungsforderungen" sein und keine Konstruktionsvorschriften, d. h. es sollte dem Ingenieur freigestellt sein, wie er eine vorgegebene Forderung erfüllt.
- Die Forderungen des Verbrauchers sind wesentlich stärker als diejenigen, die eine Gesellschaft über Gesetze vorbringt. Die Fähigkeit eines Herstellers, diese Verbraucherforderung zu erkennen und zu erfüllen, wird den Erfolg eines Modells (oder eines Verfahrens, Anm. d. Verf.) und damit dessen Überlebenschance bestimmen.
- Alle Zeichen deuten darauf hin, daß Wirtschaftlichkeit der Schlüssel zum Erfolg sein wird.

Des weiteren enthält {120} Abschätzungen und Aussagen zu den Punkten "Öffentlicher Verkehr", "Nutzfahrzeuge" und "Alternativantriebe", auf die - so interessant diese auch sind - hier nicht näher eingegangen werden kann. In dem obengenannten Zusammenhang sei jedoch noch auf die neuesten Vorschläge der "Energy Commission of Sweden" hingewiesen, die im April 1978 veröffentlicht wurden {127}.

Die von der Energiekommission vorgeschlagenen Planungen für die nächsten beiden Dekaden tangieren das Automobil in einigen Punkten und charakterisieren die künftigen schwedischen Diskussionsthemen. Sie seien wegen ihrer Bedeutung abschließend zusammengefaßt:

- Weitreichende Beschränkungen des privaten Kraftfahrzeugverkehrs sollten in Stadtkerngebieten größerer Städte, insbesondere in Stockholm, Göteborg und Malmö, eingeführt sowie Massenbeförderungssysteme bevorzugt und attraktiver gemacht werden.
- Gesetzlich vorgeschriebene Fahrzeugüberprüfungen (sogenannte Wirtschaftlichkeits "tune-ups") sollten in Erwägung gezogen werden, um sicherzustellen, daß die vorhandenen Fahrzeuge wirtschaftlicher betrieben werden.
- Für neu zugelassene Fahrzeuge soll der maximal zulässige Kraftstoffverbrauch vorgeschrieben werden.
- Der Ausbau des Informations- und Schulungssystems für den Fahrzeugbesitzer wird vorgeschlagen, damit der Kraftstoffverbrauch durch angemessene Fahrweise und Einhalten der vorgeschriebenen Wartungen gesenkt wird.
- Maßnahmen sollten eingeleitet werden, um auch andere Kraftstoffe als Benzin und Dieselöl zuzulassen.
- Das Fahrzeug-Besteuerungssystem sollte derart geändert werden, daß leichtere und sparsamere Fahrzeuge bevorzugt sind.

#### 6.5 Kurzfristige regierungsseitige Konsequenzen für die schwedische Emissionskontrollgesetzgebung

Im Jahre 1977 kündigte das schwedische Umweltschutzministerium eine Überarbeitung der bestehenden Emissionskontrollgesetzgebung an. Durch Einsetzen verschiedener Komitees sollten möglichst alle bei der Definition einer neuen Strategie zu beachtenden Faktoren untersucht werden.

Die Aufgaben dieser Komitees und Arbeitsgruppen sowie die von diesen Gremien bereits erarbeitenden Vorschläge sind in Bild VI.6-5 zusammengefaßt. Das Ergebnis der Untersuchungen soll den Gesamtkomplex der Luftqualitätserfassung und -Bewertung sowie deren Verbesserung durch Maßnahmen am Kraftfahrzeug und Kraftfahrzeugverkehr transparent machen, um in Zukunft einen sinnvollen Kompromiß zwischen technischen, wirtschaftlichen und politischen Möglichkeiten sowie umweltschutzbezogenen Notwendigkeiten erarbeiten zu können.

Die von der schwedischen Regierung zu treffenden Entscheidungen gestalten sich sehr schwierig, da dem eindeutigen Wunsch, mehr zu tun, als in der ECE/EG-Gesetzgebung vorgesehen ist, die Einsicht in die Problematik eines nationalen Alleinganges gegenübersteht. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf eine eventuell für notwendig erachtete so drastische Absenkung der Emissionsgrenzwerte, daß Katalysatoren und damit (nach heutigem technologischen Stand) der Einsatz bleifreien Kraftstoffes erforderlich werden. Die hieraus möglicherweise für Schweden resultierenden wirtschaftlichen Konsequenzen sind in Bild VI.6-6 zusammengestellt. Sie können nicht außer acht gelassen werden und bilden den Kernpunkt aller Abwägungen künftiger Schritte.

In dieser Phase der Überlegungen und Unschlüssigkeit holte sich Schweden auch Rat aus dem Land, dessen Pkw-Emissionskontrollgesetzgebung es seit Aufgabe der Anwendung der entsprechenden ECE/EG-Gesetzgebung in wesentlichen Punkten übernommen hatte: Auf

Komitee/ Arbeitsgruppe	Beteiligt/ Verantwortlich	Aufgaben	Bericht- erstattung
<b>„Committee on Air Pollution“</b>	1977 vom Landwirtschafts-/ Umweltschutzminister ernannt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Entwicklung einer Strategie und eines Aktionsprogramms bezüglich der Emissionskontrolle von Kraftfahrzeugen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchung der Konsequenzen, wenn Schweden der ECE/EG- oder der US-Gesetzgebung folgt (mit Prüfung, ob und wenn ja, welche Verschärfung der Emissionsgrenzwerte erforderlich ist)</li> <li>- Untersuchung möglicher Emissionskontrolltechnologien</li> <li>- Verwendung anderer Kraftstoffe</li> <li>- Ermittlung der Emissionsniveaus verschiedener Fahrzeugklassen</li> <li>- Untersuchung des Kraftstoffverhaltens</li> </ul> </li> <li>● Untersuchung der Gesundheits- und Umweltbeeinflussung durch Kraftstoffemissionen</li> <li>● Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen von Emissionskontrollmaßnahmen und Verkehrsplanung</li> </ul>	Zwischenbericht liegt bereits vor [„Cars and Air Pollution“, SOU 1978 : 34]  Gesamtstudie fertig Ende 1981
<b>„Type Inspection Committee“</b>	1977 zusammengesetzt aus je 1 Vertreter der <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkehrssicherheitsbehörde</li> <li>- Fahrzeugprüfabteilung</li> <li>- Naturschutzamt</li> <li>- schwedischer Händler- und Herstellerverband sowie 2 Vertretern des Verkehrsministeriums</li> </ul> Leitung: Verkehrsministerium	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Es sollen Möglichkeiten untersucht werden, die derzeitige „type inspection“ sowie das heutige Verfahren zur Zulassung von Neufahrzeugen zu verbessern. Folgende Vorschläge werden gemacht: <ul style="list-style-type: none"> <li>- der Händler soll eine Vor-Auslieferungs-Inspektion machen, ehe ein Auto verkauft werden darf</li> <li>- das „type inspection“-Verfahren (Typenbesichtigung vor Erteilung der Verkaufszulassung) soll im Umfang reduziert werden</li> <li>- stattdessen soll der Umfang der Feldüberwachung erhöht und dieses „surveillance testing“ regelmäßig durchgeführt werden</li> <li>- die Emissionskontrollsysteme sollen „tamperproof“ (d. h. verstellsicher) konstruiert werden</li> <li>- Kurztests sollen entwickelt werden</li> <li>- der zulässige Leerlauf-CO-Gehalt soll gesenkt werden</li> <li>- „road-side tests“ sollen erfolgen (Tests im Verkehr)</li> <li>- Hersteller sollen verantwortlich für die Korrektur von Fahrzeugen sein (bei Sicherheitsmängeln und Überschreiten der Emissionsgrenzwerte)</li> <li>- Sanktionen wie Rücknahme der Verkaufszulassung durch die Behörde und Strafzahlungen sollen eingeführt werden</li> <li>- die oben genannten Vorschläge sollen am 1. 1. 1981 Gesetz werden</li> </ul> </li> </ul>	Teilabschlußbericht liegt vor [„Vehicles in Prescribed Conditions“, DS K 1979 : 7]
<b>„Working Group for Lead Free Petrol“</b>	Regierungs-Arbeitsgruppe, tätig seit 1979 unter Leitung des Landwirtschafts-/Umwelt- schutzministers	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Einarbeitung eines Vorschlags über mögliche Absenkungen des Bleigehaltes im Kraftstoff <ul style="list-style-type: none"> <li>- ausgehend von der heutigen gesetzlichen Situation, die ab 1. 1. 1980 0.15 g Pb/l im Normalbenzin und ab 1. 7. 1981 den gleichen Wert für Superkraftstoff vorschreibt, wird die Einführung gänzlich bleifreien Kraftstoffes empfohlen</li> <li>- ab 1. 1. 1983 soll Normalbenzin 93 RON (85 MON) aufweisen</li> <li>- ab Einsatz der 1983er Modelle sollen die Motoren für den Betrieb mit bleifreiem Kraftstoff ausgestattet sein</li> <li>- eine „Bleiabgabe“ von 10 Öre/l soll eingeführt werden, damit möglichst nur noch bleifreier Kraftstoff verwendet wird</li> <li>- neue Fahrzeuge ab Modelljahr 1985 sollten mit Mischkraftstoff betreibbar sein (Methanol oder andere Alkohole)</li> </ul> </li> </ul>	Bericht lag Ende 1979 vor [„Petrol without Lead“, DS JO 1979 : 11]

**Bild VI.6-5:** Aufgaben und Vorschläge verschiedener Komitees, die im Rahmen einer Neudefinition der Zielvorstellungen für die künftige schwedische Emissionskontrollgesetzgebung regierungsseitig eingesetzt wurden.

eine Bitte des Direktors des "Research Department of the National Swedish Environmental Protection Board" fertigte Eric O. Stork (von 1970 bis 1978 "Deputy Assistant Administrator for Mobile Source Air Pollution Control" der US-EPA) in seiner Eigenschaft als beratender Professor in "Technology and Public Policy" des "Institute for Interdisciplinary Engineering Studies" der "Purdue University", West Lafayette, Indiana, USA eine Analyse der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung an. Diese



- Die meisten Automobilhersteller können Fahrzeuge für den schwedischen Markt nicht mehr mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand herstellen und ziehen sich von diesem Markt zurück
- Die erzwungene Aufgabe des schwedischen Marktes könnte wirtschaftliche Gegenmaßnahmen seitens der betroffenen Länder auslösen
- Schweden exportiert  $\approx \frac{1}{3}$  seiner Automobilproduktion in EWG-Länder und ein weiteres  $\frac{1}{3}$  in die USA. Wenn schwedische Autohersteller eine spezielle „Schweden-Version“ zu bauen hätten, wäre ein enormer finanzieller Aufwand notwendig (EWG = Europäische Wirtschaftsgemeinschaft)
- Wenn die Kosten einer speziellen „Schweden-Version“ auf die Gesamtproduktion umgelegt würden, würden schwedische Fahrzeuge auf anderen Märkten weniger wettbewerbsfähig
- Wenn die Kosten einer speziellen „Schweden-Version“ nur auf die in Schweden verkauften Volvo und Saab umgelegt würden, würde deren Preis erheblich steigen
- Falls Katalysatorkonzepte zum Einsatz gelangen müßten, die bleifreien Kraftstoff erforderlich machen, wäre Schweden in Europa das einzige Land mit derartiger Kraftstoffqualität. Schwedische Fahrzeugbesitzer könnten dann das Land mit ihren Automobilen nicht mehr verlassen, oder würden beim Fahren außerhalb Schwedens das Emissionskontrollsystem mehr oder weniger schnell irreparabel schädigen

**Bild VI.6-6:** Auswirkungen eines schwedischen Alleingangs bei der Emissionskontrollgesetzgebung, wenn dieser Alleingang die Produktion einer speziellen „Schweden-Version“ des Emissionskontrollsystems und den Einsatz einer nicht bleiresistenten Katalysatortechnologie bedingt, nach [1128].

Analyse vom November 1979  
 { 9 } beinhaltet zunächst eine Betrachtung des Ist-Zustandes der Vorschriften und Praktiken, mit denen Schweden Emissionen aus Pkw limitieren, reduzieren und kontrollieren möchte und entwickelt dann Vorschläge für ein verbessertes System, das gesteckte Ziel zu erreichen.

Mr. Stork's genereller Rat an die schwedischen Behörden ist, auf alle Fälle die Resultate der Arbeiten obengenannter Komitees abzuwarten (Ende 1981), bevor über weitere Verschärfungen der Emissionskontrollgesetzgebung entschieden wird. Darüber hinaus sollte in der Zwischenzeit die Diskussion über dieses Thema auf breiterer Basis geführt werden, damit auch die Öffentlichkeit bewußt an der geforderten politischen Entscheidung teilnehmen kann. Es muß bis zum obengenannten Termin nach Stork klar geworden sein, welche finanziellen Belastungen die schwedische Bevölkerung zur Sicherstellung ihres eigenen Schutzes bereit ist zu tragen.

**Diese Seite bleibt aus drucktechnischen Gründen leer**

**This page is intentionally left blank for technical (printing) reasons**

---

## TEIL VII

### Aufwand und Probleme für den Automobilhersteller bei Zertifikation, Produktion und Betrieb von PKW mit Otto- und Diesel-Motoren unter den Vorschriften der Schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung

#### 1. Einleitung

Seit Schweden im Jahre 1974 die Anwendung der ECE-Emissionskontrollgesetzgebung aufkündigte und die entsprechende US-Gesetzgebung übernahm, mußte es aus Sicht der Automobilindustrie in die Reihe der sogenannten "Abgasländer" (zu denen bis dahin nur die USA, Japan und Australien gerechnet wurden) eingeordnet werden. Diese Länder sind gekennzeichnet durch Emissionskontrollvorschriften, die sich grundlegend von der entsprechenden ECE-Gesetzgebung unterscheiden und darüber hinaus auch untereinander uneinheitlich bezüglich Verfahren, Fahrzyklen und Grenzwerten sind.

Für die Automobilhersteller resultiert aus dieser Uneinheitlichkeit der Zwang, die in diese Länder exportierten Fahrzeuge mit ebenso verschiedenen Emissionskontrolltechnologien auszustatten sowie die in technischem, organisatorischem und zeitlichem Aufwand zum Teil erheblich unterschiedlichen Zertifizierungsverfahren abwickeln zu müssen. Diese Problematik ist für Schweden daher relevant, weil die Übernahme der US-Emissionskontrollgesetzgebung nur verbal den Anschein einer Vereinheitlichung von Vorschriftenanwendung und technischem Aufwand hat. De facto gibt es jedoch sowohl eine eigene "Schweden-Version" der Fahrzeugmodelle, wie auch eine separate Schweden-Abgaszertifikation, da die von Schweden ab 1976 unverändert angewandten US-Vorschriften des Modelljahres 1972 sowohl bezüglich des Meßverfahrens wie auch der Grenzwerte in den USA inzwischen fortgeschrieben wurden und seit 1975 grundlegend unterschiedliche Technologien (Katalysatoren) erforderlich machten.

Da Schweden dieser Weiterentwicklung nicht folgen konnte, hat es sich in die heute vorliegende Position begeben, in der weder "Europa-Fahrzeuge" noch "US-Versionen" (oder auch "Japan-Ausführungen") seiner Emissionskontrollgesetzgebung und seinen Marktgegebenheiten genügen können. Diese einzigartige Situation war Anlaß, Schweden in die Betrachtung der im Rahmen dieser Arbeit behandelten Themen einzubeziehen.

## 2. Die schwedischen Fahrzeug-Zulassungs- und Überprüfungsverfahren

Während in den USA das Bestehen der Emissionskontroll-Prüfungen gleichzeitig dem Erhalt der Verkaufszulassung für das getestete Fahrzeug entspricht, ist in Schweden (wie auch in der Bundesrepublik Deutschland und in Japan) die Abgas-Zertifizierung eine separat zu erfüllende Voraussetzung für die Gesamt-Fahrzeugzulassung.

Es ist daher bei der Diskussion des seitens eines Automobilherstellers für die schwedischen Emissionskontrollauflagen zu erbringenden Aufwandes notwendig, die Struktur dieses Verfahrens insgesamt kennenzulernen.

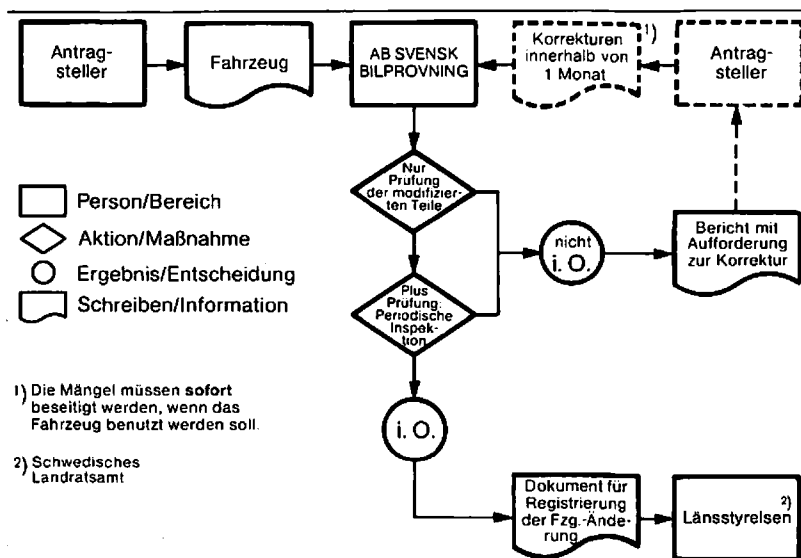
### 2.1 Die "Registrierungsbesichtigung"

Die im Jahre 1906 in Schweden erstmals auftauchende Gesetzgebung für den Automobilverkehr sah vor, daß ein Kraftfahrzeug nur dann für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen wurde, wenn es eine bestimmte Registrierungsnummer besaß. Der Fahrzeugbesitzer war verpflichtet, sein Auto zwecks Kontrolle einem Inspektor vorzuführen. Diese Kontrolle sollte bestätigen, daß das Fahrzeug bestimmte Vorschriften erfüllte und für den Gebrauch im Verkehr tauglich war. Der Inspektor stellte nach der Überprüfung ein Dokument - das Kontrollattest - aus, worin bestätigt wurde, daß der Fahrzeugbesitzer bei den Gemeindebehörden mit seinem Antrag auf Registrierung des Autos vorgespochen hatte. Die Gemeindebehörden waren verpflichtet, ein Fahrzeugregister zu führen und sollten dem Fahrzeug eine Registrierungsnummer geben. Der Besitzer brachte dann Schilder mit der Registrierungsnummer am Fahrzeug an und durfte es schließlich im Verkehr benutzen [1129]. Dieses System, bei dem jedes individuelle Fahrzeug durch einen behördlich zugelassenen Inspektor besichtigt werden muß, bevor es registriert werden kann, besteht in Schweden immer noch und heißt "Registrierungsbesichtigung".

Eine Registrierungsbesichtigung wird teils an neuen (d.h. noch nicht benutzten) und an z.B. importierten Gebrauchtwagen, teils an schon zugelassenen Fahrzeugen, die geändert worden sind, durchgeführt. Der Ablauf eines solchen Verfahrens (für noch nicht benutzte Fahrzeuge) entspricht im Prinzip dem der - historisch gesehen - später entstandenen und in Kap. 2.3 beschriebenen Typbesichtigung. Allerdings ist der Zeitaufwand für eine Registrierungsbesichtigung auf  $\approx 1$  Mann-Stunde reduziert, und es werden hauptsächlich folgende Punkte überprüft:

- Fahrzeuggewicht und Achslastverteilung
- Tragfähigkeit der Reifen
- Beleuchtung
- Bremsen (auf Rollenprüfstand).

In allen übrigen Punkten verläßt man sich auf die Zertifikate des Automobilherstellers, die für eine Registrierungsbesichtigung wie auch für die später



**Bild VII.2-1:** Die „Registrierungsbesichtigung“ durch die „AB Svensk Bilprovning“ bei Einzel-Nachzulassung von Fahrzeugen, die schon durch eine Registrierungsbesichtigung oder eine Typbesichtigung zugelassen wurden), nach [1004, 1130].

Bild VII.2-1 dargestellten Schema ab.

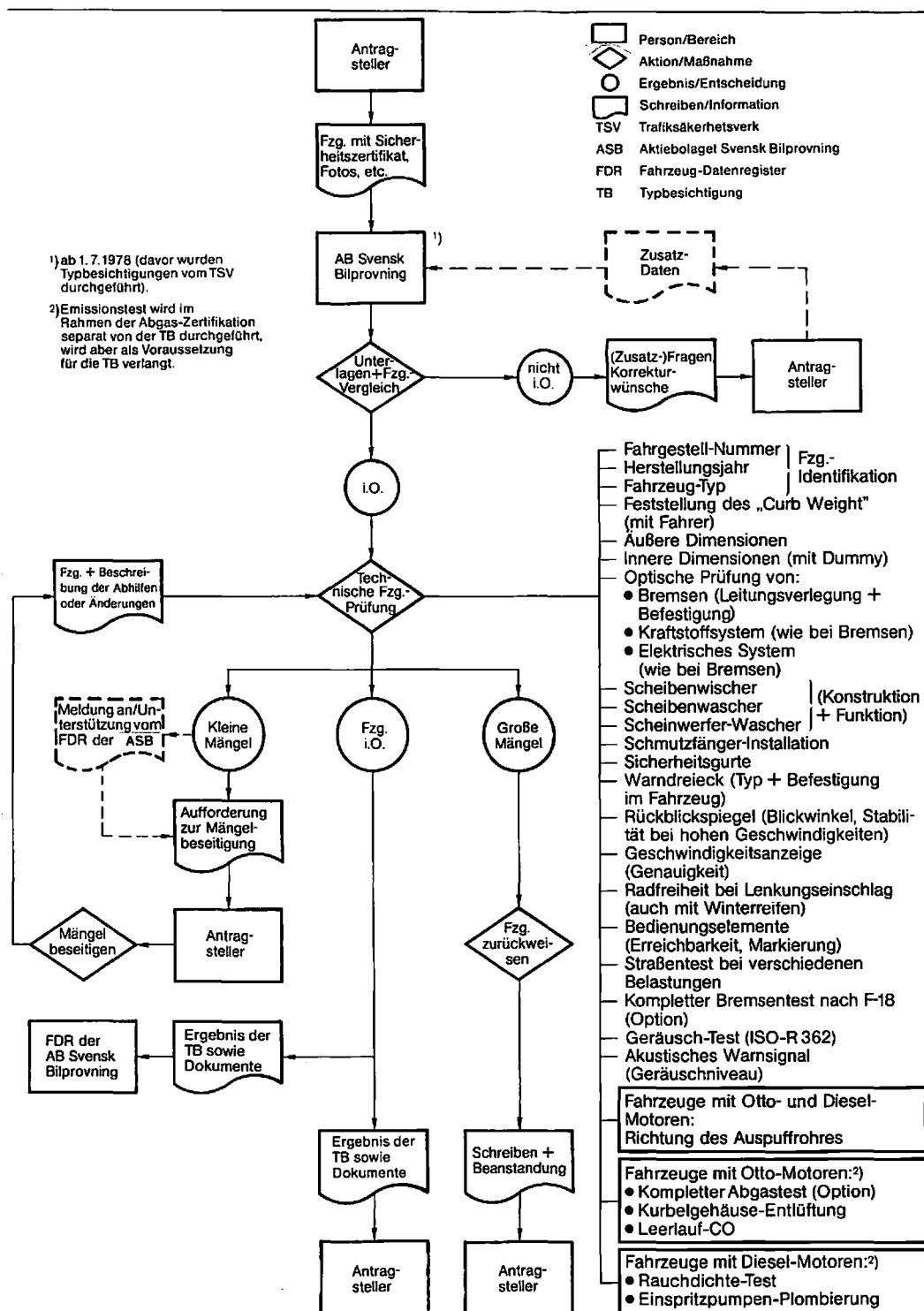
Die Registrierungsunterlage (früher: Besichtigungsschein) wird direkt an das Länsstyrelsen (schwedisches Landratsamt) geschickt, das die Angaben in das Register einprogrammiert. Einige Tage nach der Besichtigung bekommt der Fahrzeughalter einen neuen Registrierungsschein.

## 2.2 Die "Typbesichtigung"

Als um das Jahr 1925 die Zahl der Kraftfahrzeuge sehr schnell anstieg und die Autoherzeuger mit der Herstellung einer großen Anzahl identischer Fahrzeuge in Serienproduktion begannen, wurde ein Überdenken des Systems der individuellen Kontrolle eines jeden Fahrzeugs erforderlich. Als Alternative zur Registrierungsbesichtigung schlug man vor, nur ein einzelnes Fahrzeug aus einer Serie gleicher Modelle zu kontrollieren und die Gutheißung dieses Fahrzeugs auf die übrigen Fahrzeuge der betreffenden Serie zu übertragen.

Eine entsprechende Gesetzgebung wurde im Jahre 1930 verkündet und legte fest, daß ein Hersteller oder ausschließlicher Importeur von Automobilen in Schweden das Recht haben konnte, verschiedene Automobiltypen aus Produktionsserien zu einer "Typenbesichtigung" vorzuführen. Die Gutheißung des "Typenfahrzeugs" galt gleichzeitig als Anerkennung für die gesamte Serie dieses Modells. Der Ablauf des Verfahrens ist in Bild VII.2-2 dargestellt.

Die im Rahmen dieser Arbeit interessierenden emissionsrelevanten Prüfpunkte sind im Bild hervorgehoben und betreffen eine Kontrolle der Abgasableitung (Mündungsrichtung des Auspuffendrohrs), der Kurbelgehäuseentlüftung, des Leerlauf-CO-Gehaltes sowie die Durchführung eines kompletten Zertifikationstests (bei Otto-Motoren) und Überprüfung der Rauchdichte sowie der Einspritzpumpenplombierung (bei Diesel-Motoren).



**Bild VII.2-2: Die Typbesichtigung bei der „AB Svensk Bilprovning“.**  
(Zulassung einer Großserienproduktion mittels eines Muster-Fahrzeugs), nach [1131].

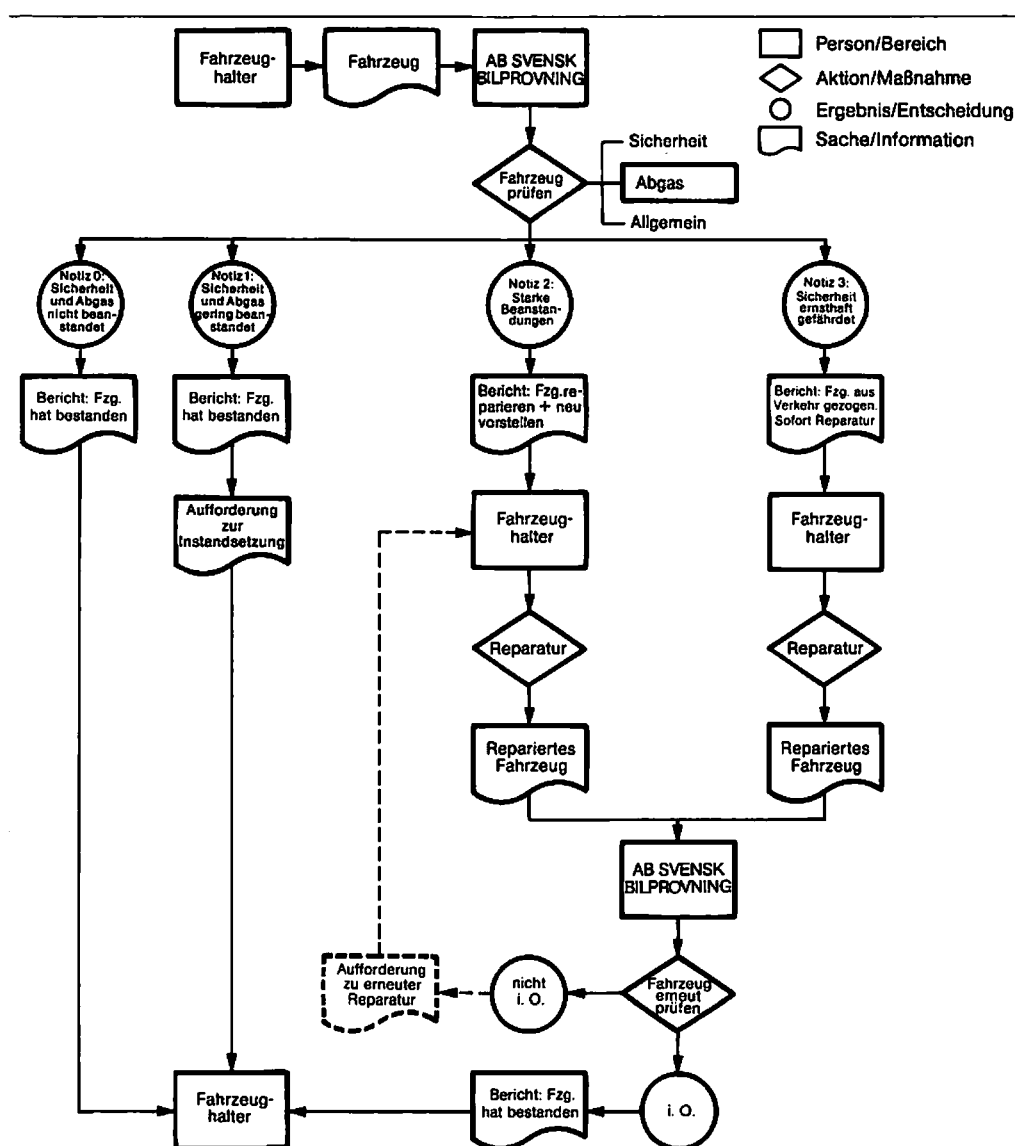
An dieser Stelle muß noch einmal darauf hingewiesen werden, daß der Abgastest nicht während der Typbesichtigung selbst stattfindet, sondern eine separat zu erfüllende Voraussetzung für die Typbesichtigung darstellt.

Obwohl auch wieder zu allen Prüfpunkten Herstellerzertifikate vorliegen müssen, nimmt eine Typbesichtigung pro Fahrzeug im Durchschnitt 5 Manntage in Anspruch. Pro Jahr werden etwa 450 bis 500 solcher Prüfungen für Pkw durchgeführt, auf alle Fahrzeugarten bezogen ist diese Zahl etwa doppelt so groß [1104, 1132].

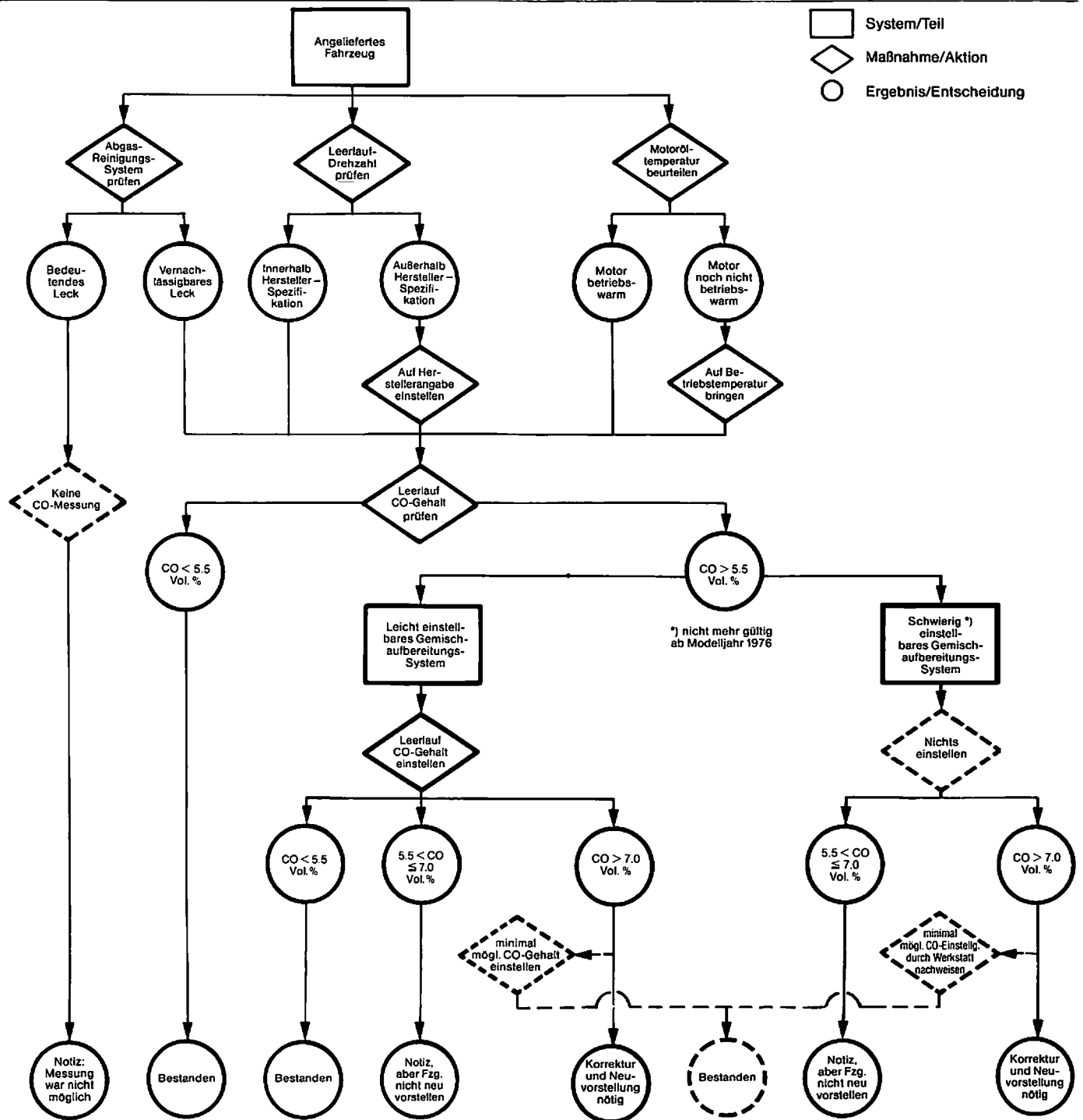
### 2.3 Periodische Inspektionen

Die zuvor genannten Vorschriften zur Überprüfung neuer Fahrzeuge vor ihrer Zulassung wurden am 01.01.1965 durch eine obligatorische periodische Inspektionspflicht für im Betrieb befindliche Fahrzeuge ergänzt. Mit der Durchführung dieser Inspektionen wurde eine speziell zu diesem Zweck gegründete Gesellschaft, die "AB Svensk Bilprovning" beauftragt. Diese Gesellschaft führt - nach organisatorischen Veränderungen innerhalb des TSV ("Trafiksäkerhetsverk" = Verkehrssicherheitsbehörde, bis dahin für Typbesichtigungen zuständig) - ab 1.7.1978 ebenfalls die vor einer Typbesichtigung notwendigen Abgaszertifikationsnachtests durch.

Der Ablauf der periodischen Inspektionen ist in Bild VII.2-3 dargestellt, wobei der emissionsrelevante Umfang der Leerlauf-CO-Kontrolle noch einmal in Bild VII.2-4 separat herausgearbeitet wurde.



**Bild VII.2-3:** Ablaufschema der Periodischen Inspektion bei der „AB Svensk Bilprovning“. (Diese Inspektion wird an allen Fahrzeugen erstmals 2 Jahre nach Erstzulassung und danach jedes Jahr durchgeführt), nach [1004].



**Bild VII.2-4:** Ablaufschema der Leerlauf-CO-Prüfung durch „AB Svensk Bilprovning“ anlässlich der periodischen Inspektionen, nach [1004].

### 3. Die schwedischen Abgas-Zertifizierungsverfahren

Gemessen am technischen und organisatorischen Aufwand für den Automobilhersteller lassen sich die Arbeiten im Zusammenhang mit der schwedischen Abgas-Zertifizierung an vierter Stelle hinter den USA, Japan und Australien einordnen. Wenn auch im letzten Abschnitt dieses Kapitels Zweifel an der Effektivität der in Schweden angewandten Verfahren zitiert werden müssen, so soll doch am Anfang der Betrachtungen klar zum Ausdruck gebracht werden, daß zumindest der im Rahmen der Abgaszertifizierung zwischen Automobilhersteller und Behörde stattfindende Kommunikationsfluß im



Vergleich zu allen anderen obengenannten Ländern oder deren Umweltschutz- und Zulassungsbehörden nach den Erfahrungen der Daimler-Benz AG im Fall Schweden den bei weitem zügigsten Ablauf hat.

### 3.1 Das Abgas-Zertifizierungsverfahren für Pkw mit Otto-Motoren bis einschließlich Modelljahr 1975

Ausgehend von der Vereinbarung, daß der Begriff "Abgaszertifizierung" bei Fahrzeugen mit Otto-Motor die Durchführung von kompletten Emissionstests beinhaltet, kann gesagt werden, daß die schwedische Abgaszertifizierung am 01.07.1970 mit der Anwendung des Europa-Fahrzyklus und Einheitsgrenzwerten (2,2 g HC/km; 45 g CO/km) für alle Fahrzeuggrößen bis 2,5 t Gesamtmasse ihren Anfang nahm. Sie eilte damit der Zertifizierung in der Bundesrepublik Deutschland voraus, die den Europa-Fahrzyklus in Verbindung mit fahrzeugmassenabhängigen Grenzwerten der Dimension (g/Test) erst ab 01.10.1971 zur Anwendung brachte.

Im Vergleich zu den in der ECE/EG-Gesetzgebung vorgeschriebenen Emissionsgrenzen entsprechen die obengenannten Einheitsstandards der schwedischen Bestimmungen Grenzwerten von 8,9 g HC/Test und 182 g CO/Test (bei 4 gefahrenen Europa-Zyklen zu je 1,013 km Länge). Diese ersten Grenzwerte bringen bereits die erhöhte Bedeutung zum Ausdruck, die in Schweden einer HC-Kontrolle gegenüber einer CO-Absenkung beigemessen wurde. Der schwedische CO-Grenzwert entsprach dem ECE/EG-Grenzwert eines Fahrzeugs der 1810 kg-Schwungmassenklasse während der HC-Wert der (mit schärferen Grenzwerten belegten) 910 kg Schwungmassenklasse der ECE/EG-Gesetzgebung zuzuordnen ist.

Außer einer Überprüfung von neuen (Zulassungs-)Fahrzeugen mittels Fahrzyklus und Standards beinhaltete das damalige schwedische Zertifizierungsverfahren keine nennenswerten zusätzlichen Auflagen, wie z. B. die für USA in Teil III, Kap.5.2.3.1 und Kap.5.2.3.3 behandelten Teststrecken- oder Laborzulassungen.

### 3.2 Das Abgas-Zertifizierungsverfahren für Pkw mit Otto-Motoren ab Modelljahr 1976

Seit Übernahme der Zertifikations- und Testverfahren des US-Modelljahres 1972 ab 1976 für Schweden nimmt die Abgas-Zertifizierung innerhalb der schwedischen Fahrzeug-Gesamtzulassung den größten Zeitbedarf in Anspruch. Es ist dem Automobilhersteller hierbei freigestellt, seine Fahrzeuge nach den auf (g/km) umgerechneten US-Emissions-Grenzwerten des Modelljahres 1972 (2.1 g HC/km; 24.2 g CO/km; 1.9 g NO<sub>x</sub>/km entsprechend 3.4 g HC/m; 39 g CO/m und 3.1 g NO<sub>x</sub>/m) oder nach den um 10 % verschärferten Standards von 1.9 g HC/km; 22.0 g CO/km und 1.72 g NO<sub>x</sub>/km zu zertifizieren. Die erstgenannte Kombination ist nur gültig in Verbindung mit einem 80.000 km-Dauerlauf zur Ermittlung des "deterioration factor" (DF), d. h. des Verschlechterungsverhaltens der Schadstoffemissionen über der Laufzeit des Fahrzeugs. Die letztgenannte Grenzwert-Kombination beinhaltet einen festen DF von 1,1. Sämtliche Automobilhersteller haben bisher aus Zeit- und Kostengründen diesen festen DF anerkannt und damit nach den schärferen Grenzwerten zertifiziert.



hen. Der prinzipielle Ablauf des schwedischen Abgaszertifizierungsverfahrens einschließlich der Handhabung der entsprechenden (aus Teil III dieser Arbeit bereits bekannten) Dokumente Part I und Part II ist in Bild VII.3-1 veranschaulicht.

#### 4. Sanktionen, Kontrollbesuche, Rückrufaktionen

*Sanktionen* seitens der Behörden sind bisher nur insofern möglich, als einem Fahrzeugbesitzer – der ein Fahrzeug betreibt, dessen Ausstoß an Luftverunreinigungen über dem zugelassenen Umfang liegt – wegen versäumter Fahrzeugpflege oder weil die Beschaffenheit oder Ausstattung des Fahrzeugs geändert wurde, eine Strafe von höchstens 500 Skr. auferlegt werden kann. Der Automobilhersteller oder der Importeur des beanstandeten Fahrzeugs kann bisher nicht zur Rechenschaft gezogen werden.

Bei der Zulassung von Fahrzeugen haben die schwedischen Behörden das Recht, unwahre Aussagen eines Herstellers (z. B. eine falsche Bescheinigung) gerichtlich zu verfolgen. Ein praktischer Fall einer derartigen Aktion ist jedoch noch nicht aufgetreten {1004}.

*Kontrollbesuche*, wie sie von der US-EPA im Zusammenhang mit den Abgas-Zertifizierungsaktivitäten eines Automobilherstellers regelmäßig durchgeführt werden, erfolgten durch die schwedischen Behörden erst einmal, und zwar im Juni 1976 bei Chrysler France. Vertreter der Behörde wohnten hierbei anlässlich dieses Besuches offiziellen Zertifizierungstests im Herstellerwerk bei {1004}.

Für emissionsbezogene *Rückrufaktionen* gab es bis 1980 noch keine gesetzliche Grundlage, so daß ein derartiger Fall bisher auch noch nicht vorgekommen ist. Bezüglich dieses Punktes werden jedoch behördlicherseits entsprechende Vorbereitungen diskutiert, um die fehlende Gesetzesgrundlage zu schaffen. Entsprechend äußerte sich bereits am 01.02.1977 der schwedische Verkehrsminister Bo Tureson, als er über die zukünftige Verkehrssicherheitsarbeit berichtete. Er kündigte an, daß bezüglich der Fragen

- Verschärfung des heutigen Typprüfsystems aufgrund der schlechten Ergebnisse von nachgeprüften im Verkehr befindlichen Fahrzeugen sowie
- Einführung eines Recall-Systems nach USA-Vorbild

Entscheidungen vorbereitet werden. Das Verkehrsministerium habe hierzu eine Arbeitsgruppe etabliert, die Verbesserungsmöglichkeiten der derzeit praktizierten Zertifizierungsverfahren, der fliegenden Inspektionen sowie der periodischen Überprüfungen untersuchen soll {1004, 1129}.

#### 5. Veränderungen der Auflagen und Verantwortungen für den Automobilhersteller im Rahmen der Weiterentwicklung der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung

Nachdem die in Teil VI dieser Arbeit gemachten Ausführungen den heute eingetretenen Wendepunkt der schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung hergeleitet haben, müssen

die sich aus dieser Phase des Überdenkens bisheriger sowie der Neudefinition künftiger behördlicher Aktivitäten ergebenden Konsequenzen für die Automobilindustrie untersucht werden. Hierbei sei noch einmal auf die Ausarbeitungen von Eric O. Stork zurückgegriffen { 9 }, da noch keine definitiven Pläne der schwedischen Behörden bekannt sind. Es ist jedoch nicht unwahrscheinlich, daß die obengenannte Neuorientierung zumindest teilweise im Sinne der Stork-Vorschläge erfolgt. Letztere Annahme begründet sich in der Tatsache, daß die Kritik an den Einzelbereichen des bisherigen schwedischen Emissionskontrollprogramms und die entsprechenden Verbesserungsvorschläge von dem Mann ausgesprochen wurden, unter dessen Regie das gesamte komplexe Gebilde der US-Emissionskontrollvorschriften entstand. Die Berücksichtigung zumindest eines Teils seiner Gedanken bei der Diskussion künftiger nationaler (nicht nur schwedischer) Gesetzgebungswerke zur Emissionskontrolle ist daher naheliegend.

### 5.1 Veränderungen im Programm der periodischen Inspektionen

Durch die bereits etablierten Aktivitäten der "AB Svensk Bilprovning" war Schweden in der Lage, sofort das in den USA mit "Inspection and Maintenance" (I/M) bezeichnete Emissionsüberwachungsprogramm (wenn auch nur im begrenzten Umfang einer CO-Kontrolle im Leerlauf) zu realisieren. Eric O.

Mangel	Verbesserung
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prüfwerte sind nicht streng genug (4.5 Vol. % CO + 1 Vol. % Toleranz für Instrumentenstreuung; erst ab 7 Vol. % werden Reparatur und Wiedervorstellung erforderlich)</li> <li>● Nutzen-Analyse des schwedischen I/M-Programms wurde bisher nicht durchgeführt (Zweifel bestehen, ob bisher angewandtes I/M-Programm einen nennenswerten Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität erbringt)</li> <li>● Die Behörde hat keine untermauerte Basis für den Zusammenhang von niedrigstem Prüfwert („cutpoint“) und maximal akzeptabler Rückweiserate („rejection rate“)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Festlegen strengerer Prüfwerte (z. B. 4 Vol. % CO im Leerlauf ohne Toleranzen für Instrumentenstreuung)</li> <li>● Einleiten von Studien über den Nutzen eines I/M-Programms</li> <li>● Festlegen einer praktikablen Rückweiserate (z. B. 30%), die für die Verbesserung der Luftqualität etwas nützt, aber politisch noch vertretbar ist (zu hohe Rückweiseraten würden öffentliche Opposition verursachen und könnten sogar die Service-Betriebe überlasten)</li> </ul>

Stork hält diese schwedische Leerlauf-CO-Kontrollen jedoch für wenig effektiv und mit relativ einfachen Mitteln für deutlich verbesserungsfähig. Seine diesbezüglichen Gedanken sind in Bild VII.5-1 zusammengestellt.

**Bild VII. 5-1:** Mängel an Schwedens bisherigem „Inspection and Maintenance (I/M)“-Programm und Verbesserungsvorschläge, nach [1140].

Als Konsequenzen für den Automobilhersteller dürften sich bei Realisierung dieser Vorschläge nur unter zwei Bedingungen größere Probleme ergeben, nämlich wenn:

- die Rückweiseraten ("rejection rates") zu streng definiert würden und
- wenn die negativen Ergebnisse der Leerlauf-CO-Kontrolle (in allen Fällen oder nur ab einer bestimmten "Höhe" des Nicht-Bestehens) einen Zertifikationstest zur vollständigen Emissionsüberprüfung des Fahrzeugs auslösen würden.

Da unklar ist, welche Bedeutung die schwedischen Behörden einem bestimmten Grenzwert für den CO-Gehalt im Leerlauf zumessen, und da in der von Schweden angewandten US-Vorschrift ein Erfüllen oder Nicht-Erfüllen des Gesetzes nur aus dem kompletten Zer-

tifizierungstest abgeleitet werden kann, dürften auch keine Sanktionen für den Automobilhersteller, wie z. B. Rückruf oder Strafzahlungen, mit einem zu hohen Leerlauf-CO-Wert verknüpfbar sein.

Eine Herabsetzung des Leerlauf-CO-Nachprüfwertes auf 4 Vol.-% wäre damit, eingedenk gewisser politisch zu definierender Grenzen bei der "rejection rate"-Festlegung, relativ problemlos realisierbar.

## 5.2 Veränderungen im Zertifizierungsverfahren

Die Kritik von Eric O. Stork am bisherigen schwedischen Zertifizierungsverfahren ist nicht nur gleichzeitig eine Kritik am US-Zertifizierungsverfahren (dessen 1972er Variante bekanntlich von Schweden angewandt wird), sondern eine *grundsätzliche Kritik an allen behördlichen Bemühungen, Luftqualitätsverbesserungen über gesetzliche Auflagen, die die Automobilindustrie vor Erhalt der Verkaufszulassung oder vor dem Verkauf ihrer Fahrzeuge erfüllen muß, zu erreichen*. In diesem Sinne werden von Stork

<p><b>Die Einreichung technischer Anmeldungsunterlagen soll der Behörde erlauben:</b> [1145].</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● das „richtige“ Fahrzeug zu bestimmen, das die Fähigkeit zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nachweist,</li> <li>● festzustellen, daß das Prototyp-Testfahrzeug dem in der technischen Anmeldung beschriebenen Zustand entspricht,</li> <li>● diejenige Konstruktion genau zu definieren, die zur Produktion zertifiziert wurde.</li> </ul> <p><b>Die Behörde kann die Anmeldungsunterlagen jedoch nicht wie beabsichtigt verwenden, da folgende verfahrensinherente Mängel vorliegen:</b> [1145].</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● der Bezug der Anmeldungsdaten zur Auswahl des „richtigen“ Testfahrzeugs ist zweifelhaft,</li> <li>● bei den meisten Komponenten kann die Behörde nicht feststellen, ob diese Teile am Test-Prototyp den Anmeldungsunterlagen entsprechen,</li> <li>● es existieren keine praktikablen Sanktionen für den Fall, daß ein Hersteller Fahrzeuge anders produziert und verkauft als in den Anmeldungsunterlagen angegeben.</li> </ul>	<p><b>Die Durchführung der Zertifikations-Tests soll sichere Aussage über die Leistungsfähigkeit des Emissionskontrollsystems erlauben:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Es besteht Anlaß zum Zweifel an der Strenge der schwedischen Zertifikationstest-Durchführung. Rate ungültiger Tests im Labor der schwedischen Behörde <math>\approx 10\%</math>, im Labor der US-EPA <math>\approx 40\%</math> (!), [1143].</li> <li>● Ein Labor, das Zertifikationstests durchführt, sollte eine Qualitätskontroll-Mannschaft haben, die unabhängig vom Labor-Leiter ist. Sie sollte in der Lage sein, einen Test für ungültig zu erklären, wenn Fehler im Ablauf auftreten, ohne den Labor-Leiter zu dieser Entscheidung befragen zu müssen, [1144].</li> </ul> <p><b>Selbst wenn keine verfahrensinherenten Mängel vorlägen, wäre das schwedische Zertifizierungs-Verfahren aus folgenden Gründen unzureichend:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Anmeldeprozedur und Testaktivitäten beim Hersteller sind zwar ein „aufwendiges“, sonst aber nur ein „anspruchloses Ritual“, [1144].</li> <li>● Der Behörde ist weder eine technische Prüfung noch eine Auswertung der eingereichten Unterlagen möglich (Mangel an Personal und Qualifikation des Personals), [1142].</li> </ul>
---	--

sowohl Zertifizierungs- wie auch Serienkontrollvorschriften in der heute weltweit nach US-Vorlage behördlicherseits praktizierten Form als den Zweck nicht erfüllend und damit als falsch bezeichnet [1141}.

In Bild VII.5-2 sind die - zum großen Teil generell gültigen - Kritikpunkte, die Stork gegenüber dem bisherigen schwedischen Zertifizierungsverfahren vorgebracht hat, zusammenge-

**Bild VII.5-2:** Mängel an Schwedens bisherigem Zertifizierungsverfahren, nach [1142 bis 1145].

faßt. In Bild VII.5-3 wird dargelegt, auf welchen Gebieten es eine Behörde sich im Rahmen ihrer Emissionskontrollbemühungen nicht zumuten sollte, kompetent zu sein, und wo sie auch nicht erwarten sollte, realistische Aussagen zu gewinnen. Gleichzeitig werden die sich aus diesen Überlegungen ergebenden Konsequenzen für die Behörden dargelegt.

Weil sich jedoch bei Realisierung dieser Vorschläge nicht nur für die gesetzgebenden und gesetzanwendenden Behörden, sondern besonders für den gesetzerfüllenden Automobilhersteller grundlegende organisatorisch/rechtliche Änderungen von derzeit nur schwer überschaubarer Tragweite abzeichnen, wurden die Stork-Ausarbeitungen {9}

**Eine Behörde kann folgende Aufgaben nicht wahrnehmen, [1141]:**

- Konstruieren und Bauen von Fahrzeugen, die über ihre gesamte Lebenszeit vorgegebene Emissionsgrenzwerte einhalten
- Realisieren von Sanktionen, die den Bau, den Verkauf oder den Kauf von Fahrzeugen unmöglich machen (falls Verstöße gegen gesetzliche Vorschriften entdeckt werden)
- Bestimmen der Dauerhaltbarkeit und Verschlechterung eines Emissionskontrollsystems von Produktionsfahrzeugen oder Fahrzeugen im Verkehr auf der Basis von Prototypentests
- Fähigkeit erwerben, anhand eines zur Zertifizierung vorgestellten Prototyps entscheiden zu können, ob die späteren Serienfahrzeuge diesem Prototyp „in all material respects“ gleichen (dies würde auch durch noch mehr Datenanforderung im Rahmen der technischen Anmeldung zur Zulassung („Part I“) nicht erreichbar sein, da eine Bearbeitung derart umfangreicher Beschreibungen nicht mehr möglich wäre)
- Durchführen von Emissionstests am Ende der Serienproduktion (d. h. noch im Herstellerwerk), die repräsentative Aussagen für das Emissionsverhalten im tatsächlichen Fahrbetrieb machen (hierzu müßten die Serienfahrzeuge erst mehrere tausend Kilometer Fahrstrecke absolvieren)

**Daher sollte die Behörde den Schwerpunkt ihres „Compliance Assurance“-Programms vom Testen von Prototypen auf das Testen von Fahrzeugen im Verkehr verlagern und hierbei folgendes Verfahren anwenden, [1146]:**

- Das Kriterium „Erfüllung von Emissionsgrenzwerten“ auf den Mittelwert der Emissionen einer repräsentativen Fahrzeuggruppe beziehen (nicht auf jedes einzelne Fahrzeug)
- Keine Beurteilungen und Entscheidungen über Gebiete treffen, die sie nicht beurteilen kann (z. B. Bestimmung der Dauerhaltbarkeit eines Emissionskontrollsystems aufgrund von Tests an Prototypen)
- Keine Dokumente/Informationen vom Hersteller verlangen, die sie nicht unbedingt zur Entscheidungsfindung benötigt (außer z. B. Angaben über AECD's<sup>1)</sup> oder Einstellsicherungen)
- Keinerlei Nachweise über die Erfüllung von Emissionsgrenzwerten mehr vom Hersteller vor dem Verkauf seiner Fahrzeuge verlangen (Zertifizierung, Serienkontrolle), sondern statt dessen Überprüfungstests an Fahrzeugen im Verkehr durchführen lassen, nachdem diese eine ausreichende Laufleistung zurückgelegt haben, [1147].
- Festlegen glaubwürdiger Sanktionen für den Hersteller, im Falle, daß seine Fahrzeuge im Verkehr das vorgeschriebene Emissionsniveau nicht einhalten. Die glaubwürdigste Sanktion wäre die Festlegung von „emission-fees“ (d. h. Gebührenzahlungen, die von der nachprüfenden Stelle erhoben werden, wenn die getesteten Kundenfahrzeuge bestimmte Emissionsgrenzwerte überschreiten; diese Gebühren sollten je nach Höhe der Überschreitung progressiv steigen)

<sup>1)</sup> AECD = Auxiliary Emission Control Device = Schaltung oder Schalter des Emissionskontrollsystems; unerlaubtes AECD = Defeat Device = sogenannte „Sabotage-Schaltung“

**Bild VII.5-3: Vorschläge zur Verbesserung des schwedischen „Compliance Assurance“-Programms, nach [1141, 1146, 1147].**

Weg ihr Ziel, die Luftqualität zu verbessern, eher erreichen?

2. Wie würde sich eine solche Emissionskontrollgesetzgebung auf die betroffenen Bereiche, wie z.B.

- Automobilhersteller,
- Fahrzeugbenutzer,
- Volkswirtschaft

auswirken?

Die nachfolgend wiedergegebenen Gedanken sollen helfen, die Problematik dieser beiden Fragen zu verdeutlichen.

### 5.2.1 Ziele des von Eric O. Stork vorgeschlagenen Systems einer neuen schwedischen Emissionskontrollgesetzgebung

Stork geht von der Annahme aus, daß eine Emissionskontrollgesetzgebung nur dann ihr Ziel erreicht, wenn der Behörde Instrumente an die Hand gegeben werden, glaubhafte, d.h. realisierbare Strafaktionen durchführen zu können. In diesem Sinn hält er die in der (von Schweden heute teilweise praktizierten) US-Gesetzgebung angedrohten Strafen, wie "Nichterteilung des Zertifikats" oder "Zertifikatsrückruf" für undurch-

in einem persönlichen Gespräch mit ihrem Autor diskutiert und das Verständnis der diesen Vorschlägen zugrunde liegenden Gedanken vertieft [1148]. Nach dem Gespräch stellen sich dem Verfasser dieser Arbeit folgende entscheidende Fragen:

1. Könnte eine neue (hier: schwedische) Emissionskontrollgesetzgebung, die weder Zertifizierung noch Serienkontrolle, sondern allein die Erfüllung der vorgeschriebenen Grenzwerte im Feldeinsatz nach gewisser Laufstrecke der Fahrzeuge vorschreibt und vom Automobilhersteller Gebührenzahlungen je nach Umfang des Grenzwert-Überschreitens bei Nachprüfungen (mittels eines kompletten Abgastests) fordert, praktisch "funktionieren", d.h. könnte sie auf diesem

föhrbar und damit unglaubwürdig und ohne praktische Bedeutung {1146}.

Wie der in Teil III Kap. 5.2.5 dieser Arbeit näher erläuterte "Fall Ford" beweist, lassen volkswirtschaftlich/politische Gesichtspunkte den Einsatz derartiger Druckmittel selbst dann nicht zu, wenn wegen (absichtlicher oder unabsichtlicher) Fehler in Zertifizierungsverfahren eigentlich ein Verkaufsverbot hätte erteilt werden müssen: So hat sich z. B. in dem hier zitierten Fall Ford die US-EPA selbst bis an ihre Leistungsgrenze eingesetzt, um ein Verkaufsverbot mit seinen wirtschaftlichen Konsequenzen für Automobilhersteller und Arbeitnehmer (Schließen von Fabriken, Entlassen von Arbeitskräften) und vielleicht auch politischen Konsequenzen für sich selbst (durch eine negative öffentliche Meinung gegenüber einer Behörde, die direkt als für die Entlassungen verantwortlich angesehen werden könnte) zu vermeiden.

Als praktisch anwendbares und auch wirksames Mittel zur Sicherstellung der Gesetzeserfüllung sieht Stork dagegen Gebührenzahlungen an, und zwar solche, die sich erst auf die im Verkehr befindlichen Fahrzeuge beziehen und im Betrag je nach Höhe der Grenzwertüberschreitung festgesetzt werden. Als weitere Nuance könnten die Gebühren alle in einem "pool" zusammenlaufen, aus dem diejenigen Hersteller, deren Fahrzeuge bei einer Nachkontrolle mit Abstand unter den Grenzwerten liegen, einen - ebenso gestaffelten - Bonus erhalten. Stork verspricht sich eine besondere politische Wirkung von dem Gebührensystem, wenn eine Firma damit praktisch in eine Situation kommen kann, in der sie die Konkurrenz finanziert.

Zusammenfassend lassen sich die Ziele des Stork-Vorschlages an die schwedische Behörde am besten durch nachfolgende Zitate verdeutlichen:

"This approach would place full responsibility where it properly belongs - i.e., on the manufacturer - to do everything that can reasonably be done to build cars that are durable from an emissions standpoint. The possibility of having to pay sizable emission fees would shift the manufacturers' motivation and effort from the paper-work hurdles that Sweden currently puts in their way to doing what they can to minimize the risk of incurring in future years sizable financial penalties, if their cars do not meet emission requirements. *Changing the manufacturer's motivation is absolutely necessary, if the real goal of the emission control program - putting clean cars on the road - is to be achieved* {1149}.

The engineers in charge of designing and producing an engine/emission control system need to be given concern that their careers may be harmed by their failure to have done their job right. If a company a few years later has to pay a sizable emission fee, the company will not forget who was responsible {1149}."

#### 5.2.2 Funktionsfähigkeit des Stork-Vorschlages

Es kann hier nicht geklärt werden, ob sich die organisatorischen Voraussetzungen schaffen ließen, die ein System, wie von Stork vorgeschlagen, benötigen würde,

(z.B. Teststationen, Abwicklung des Vorganges: Gebühren-Sammlung oder Bonus-Vertei-

lung besonders im Falle eines Ungleichgewichts zwischen Einnahmen und Ausgaben, Verantwortung für Überprüfungstest, praktikables Abrufverfahren von Kundenfahrzeugen usw.). Die Verlagerung der gesetzgeberischen Hürden vom Zeitraum *vor* der Fahrzeugauslieferung (Zertifikation, Serienkontrolle) auf den Zeitraum *nach* Fahrzeugverkauf würde den Automobilhersteller jedoch veranlassen, für die Sicherstellung der geforderten Emissionsqualität seiner Fahrzeuge auch im Kundeneinsatz Sorge zu tragen. Damit bestünde bezüglich einer Verbesserung der Luftqualität die Möglichkeit, einen markanten Fortschritt zu erzielen. Der Stork-Vorschlag hätte sein Ziel erreicht und müßte in diesem Sinne als funktionsfähig anerkannt werden. Ob er praktisch realisierbar ist und einen wünschenswerten Weg zum Erreichen dieses Zieles darstellt, soll eine Betrachtung seiner Konsequenzen erhellen.

### 5.2.3 Konsequenzen einer Realisierung der Stork-Vorschläge für die Automobilindustrie

Wenn man nur den Wortlaut der vorgeschlagenen Strategie beachtet, hätte der Automobilhersteller durch Entfall der Zertifizierungsaufgaben keine Probleme mehr mit der optimalen Festlegung des Verkaufsbeginns, die Serienproduktion wäre nicht mehr mit aufwendigen Abgastests belastet, technische Änderungen könnten ohne umständliche und zeitraubende "running change"-Verfahren sofort bei Bedarf in die Serie einfließen, und im Ersatzteilwesen entfielen die ebenso aufwendigen "field-fix"-Zulassungen. Die von Stork vorgeschlagenen Maßnahmen scheinen sich demnach nur als organisatorische Erleichterungen und kostensparende Verfahren auszuwirken.

Bei genauerem Durchdenken dieser Erleichterungen zeigt sich jedoch ein ganz anderes Bild. Zwar würde - was begrüßenswert wäre - das derzeit existierende weitgehende Abhängigkeitsverhältnis des Automobilherstellers gegenüber der Behörde entfallen und dem Hersteller damit wieder die Möglichkeit freier Entscheidungen in voller eigener Verantwortlichkeit gegeben, andererseits bedeutet diese Freiheit und Verantwortungsverlagerung in keiner Weise eine Entlastung. Es ist darüber hinaus fraglich, ob sich mit dem für eine Absicherung des Emissionsverhaltens im Feld notwendig werdenden Aufwand eine Kosteneinsparung gegenüber dem bisherigen System von Zertifikation und Serienkontrolle erzielen läßt.

Um sicherzustellen, daß seine Fahrzeuge die zulässigen Emissionsgrenzwerte auch bei Nachprüfungen im Feld bestehen, müßte der Hersteller nämlich nach wie vor eigene Testlabors unterhalten, um die einzusetzenden Emissionskontrollsysteme entwickeln zu können. Er müßte wie in der heute üblichen Zertifikation vor dem Produktionsbeginn Dauerläufe mit Zwischentests fahren, um die mechanische und emissionsseitige Haltbarkeit oder Veränderung über der Fahrzeuglebensdauer zu ermitteln, wenn die Ergebnisse dieser Arbeiten auch nicht mehr an Behörden zu melden und mit diesen zu diskutieren wären. Nach dem Produktionsbeginn müßte er - ebenfalls wie heute - die Überwachung des Emissionsverhaltens der Serienfahrzeuge in sein Gütesicherungspro-



gramm einbeziehen, denn es ist stets einfacher, Fehler noch im Herstellerwerk zu beheben, als bei Fahrzeugen in Kundenhand.

Der Unterschied zum heutigen Verfahren läge lediglich im Entfall des - inzwischen reduzierten - Berichterstattungswesens während des Zertifikationsverfahrens an die Behörden sowie im Entfall routinemäßiger Überprüfung der Serienproduktion durch die Behörde. Auch bezüglich Einführung technischer Änderungen in die Serienproduktion würde sich nur die Melde- und Diskussionspflicht mit der Behörde erübrigen (was allerdings ein realer Vorteil wäre). Im übrigen müßten seitens des Automobilherstellers alle technischen Änderungen während einer laufenden Produktion auch ohne diese Meldepflicht an eine Behörde auf ihren Einfluß auf das Emissionsniveau des Fahrzeugs hin untersucht werden, um im Feld keine Überraschung zu erleben.

Es kann also gefolgert werden, daß ein System wie von Stork vorgeschlagen für die Automobilindustrie praktisch ein fast vollständiges Beibehalten der heute eingespielten Zertifizierungs- und Serienkontrollaktivitäten bedeutet, deren Ergebnisse dann allerdings nicht mehr für die Behörde, sondern nur für den Hersteller selbst von Bedeutung sind. Ohne die Beibehaltung dieser Arbeiten, zu denen auch die gesetzeskonforme, d. h. zeitaufwendige, Durchführung aller Emissionstests gehört, kann der Erfolg im Feld nicht vorprogrammiert werden. Da zu diesen Tätigkeiten aber noch Arbeiten zur Absicherung des Emissionsverhaltens im Feld hinzukämen, würde der von Stork den schwedischen Behörden vorgeschlagene Weg zur Änderung ihrer bisherigen Emissionskontrollgesetzgebung für die Automobilindustrie eindeutig eine Höherbelastung bedeuten.

#### 5.2.4 Konsequenzen einer Realisierung der Stork-Vorschläge für den Fahrzeugbenutzer

Zweifelloos würde auch seitens der Fahrzeugbenutzer eine bisher nicht geforderte Beteiligung verlangt, wenn die im Verkehr nachgeprüften Fahrzeuge weder alle aus hersteller- noch aus behördeneigenen Fahrzeugflotten entnommen werden könnten. Der Aufwand eines gesetzeskonformen Abgastests ist erheblich, so daß mit Abrufen und Rückliefern des Fahrzeugs sowie den bei derartigen Tests unvermeidlichen Störungen und damit Verzögerungen (Ausfallquote im offiziellen EPA-Labor  $\approx 40\%$ ! {1143}) durchaus eine Woche pro Fahrzeug bis zu einem beanstandungsfreien Test vergehen kann.

Wenn man bedenkt, daß schon die nur Minuten dauernde periodische Inspektionen als lästig empfunden wird, läßt sich auf das öffentliche Interesse an dem obengenannten aufwendigen Nachprüfprogramm rückschließen. Hierbei wurde sogar noch von einwandfreiem Zustand des zum Test abgerufenen Fahrzeugs ausgegangen. Ist dies nicht der Fall, gibt es entweder zeitraubende Diskussionen zwischen Prüfstelle und Automobilhersteller (der sich vor dem Test vom ordnungsgemäßen Zustand des Fahrzeugs überzeugen darf), oder der Fahrzeugbesitzer wird zu einer Wartungsarbeit aufgefordert, die er entweder noch nicht durchführen wollte, oder deren Notwendigkeit er überhaupt nicht einsieht.

### 5.2.5 Wirtschaftlich/rechtliche Konsequenzen einer Realisierung der Stork-Vorschläge

Wenn die Stork-Vorschläge ihre Wirkung nicht verfehlen sollen, müssen die angedrohten Gebühren-Zahlungen eine markante Höhe haben. Es erhebt sich dabei jedoch sofort die Frage nach der Festlegung dieser Höhe sowie der von Stork vorgeschlagenen Progression. Je nach wirtschaftlicher Situation eines bestimmten Automobilherstellers wird eine gewisse Strafhöhe unterschiedlich hart wirken. Hersteller-individuelle Strafhöhen und Progressionen scheiden praktisch ohnehin aus.

Läßt man die aus der obengenannten Problematik entstehenden Wettbewerbsverzerrungen außer acht und berücksichtigt nur die normalerweise übliche Praxis eines Produzenten, seine Unkosten auf die Produkte umzulegen – und sie somit über den Preis an den Käufer weiterzugeben – so entsteht beim Stork-Vorschlag eine neue Schwierigkeit. Gebühren im Falle des Nicht-Bestehens eines Fahrzeugs im Feld-Test lassen sich aufgrund ihrer unbekannten Größe nicht so einfach in den Kaufpreis eines Fahrzeugs einbeziehen, wie z.B. die Zertifikations- oder Serienkontrollkosten, die vor dem Verkauf mehr oder weniger genau erfaßt, da vom Hersteller selbst verursacht sind. Statt der (unbekannten) Höhe der befürchteten Gebühreuzahlung muß also ein Schätzwert angesetzt werden. Befürchtet der Hersteller hohe Gebühreuzahlungen und legt er diese erwarteten Zusatzkosten auf den Verkaufspreis um, so verteuert er sein Produkt (vielleicht sogar unnötigerweise) mehr oder weniger deutlich. Liegt die Schätzung zu niedrig, ist ebenfalls direkt der Gewinn betroffen. Wie sich zeigt, ist das Schätzen und Einbeziehen der Strafzahlung kein empfehlenswerter Weg zur Lösung des Problems, von seiner moralischen Bedenklichkeit einmal ganz abgesehen.

Will der Hersteller diesen Weg aber vermeiden, muß er sicherstellen, daß seine Emissionskontrollsysteme auch noch nach längerer Laufzeit wie vorgesehen arbeiten. Will er dies auch unter den uneinheitlichen und unbekannten Bedingungen eines Feldeinsatzes tun können, so bedürfen die Teile des Emissionskontrollsystems seiner Fahrzeuge einer Auslegung, die nach schärferen Kriterien als heute üblich zu erfolgen hätte, wodurch sich der Preis der Fahrzeuge erhöhen mußte.

Auf weitere Probleme, z.B. bezüglich einer Verwendung der Strafzahlungen oder auf die Problematik des "pooling"-Systems nach dem Malus/Bonus-Prinzip im Falle eines Ungleichgewichtes von Strafeinzahlungen seitens Herstellern, deren Fahrzeuge den Test nicht bestehen, zu den Bonus-Verteilungen an Hersteller, die mit Abstand zum Grenzwert bestanden haben, kann hier nicht näher eingegangen werden, da diese Vorstellungen in den Stork-Vorschlägen noch ohne feste Gestalt sind.

Abschließend muß jedoch gerade in Zeiten problematischer Handelsbilanzen verschiedener Länder auch die Frage gestellt werden, ob nicht die Gefahr besteht, daß über den Weg der Nachprüfung im Feld mit Gebühreuzahlungen gemäß den Stork-Vorschlägen bestimmte Hersteller oder Importeure aus protektionistischen Gründen bevorzugt überprüft und angeklagt werden könnten.

## TEIL VIII

### Ausblick

Nachdem in der vorliegenden Arbeit am Beispiel von drei ausgewählten Exportländern der Versuch, durch Emissionskontrolle an Pkw und Pkw-Motoren eine Verbesserung der Luftqualität herbeizuführen, von den Anfängen derartiger Bemühungen bis zur Gegenwart im Detail betrachtet und die Vielfalt der hierbei in Erscheinung getretenen Probleme diskutiert wurden, erhebt sich abschließend die Frage nach den künftigen Tendenzen auf diesem Gebiet.

Zur Beantwortung dieser Frage ist es erforderlich, zunächst noch einmal die grundsätzlichen Abhängigkeiten zusammenzufassen und den Blickwinkel zu objektivieren. Hierbei muß von der anhand mehrerer Beispiele in dieser Arbeit belegten Tatsache ausgegangen werden, daß die Luftqualitätsbelastung durch Automobilabgase sowie deren Verbesserung primär volkswirtschaftliche und erst sekundär technische Problemstellungen repräsentieren!

Wie Bild VIII-1 zeigt, sind die drei wirtschaftspolitischen Akteure Staat, Konsument und Produzent gleichermaßen an der Verursachung von Luftverunreinigungen durch Auto-

Verursacher	Grund der Mitverursachung
Staat	<ul style="list-style-type: none"><li>• Förderung der Vollmotorisierung</li><li>• Nichtbereitstellung von dem Automobil gleichwertigen Verkehrsmitteln</li></ul>
Konsument	<ul style="list-style-type: none"><li>• Starke Einbeziehung von gefühlsbetonten Momenten in die Kaufentscheidung</li><li>• Wunsch nach Mobilität und der Vermeidung von Zwangskontakten</li><li>• Abhängigkeit von Wohnortwahl im Verhältnis zum Arbeitsort</li></ul>
Produzent	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aus Konkurrenzgründen kein Alleingang mit fortschrittlichen Emissionskontrollsystemen</li><li>• Aus Gründen der Gewinnmaximierung ohne staatlichen Zwang kein Einsatz von kostensteigernden Emissionskontrollmaßnahmen</li><li>• Forschung für neue Technologien abhängig von wirtschaftlicher Kraft</li></ul>

**Bild VIII-1:** Die drei am Problem der Verursachung von Luftverunreinigungen durch Automobilabgase beteiligten wirtschaftspolitischen Akteure: Staat, Konsument und Produzent, nach [1150].

mobilabgase beteiligt, so daß auch alle als Adressat oder Initiator von umweltpolitischen Maßnahmen in Frage kommen [150]. Da die Politik staatlicher Institutionen hinsichtlich Städtebau, Verkehr und Wirtschaft entweder bereits irreversible Folgen gehabt hat (Vollmotorisierung/Siedlungsstrukturen), nur langfristige Ziele verfolgen kann (Vermeidung weiterer Motorisierung durch Schaffung von dem Automobil gleichwertigen öffentlichen Verkehrsmitteln)

oder kaum veränderbar sein dürfte (das Wachstum der Automobilindustrie hat sich aufgrund der Verzahnung mit vielen Zuliefer- und Komplementärindustrien in zunehmendem Maße zum Indikator für das gesamtwirtschaftliche Wachstum entwickelt) {1151}, sollen nachfolgend nur die Ansatzmöglichkeiten beim Konsumenten und Produzenten betrachtet werden.

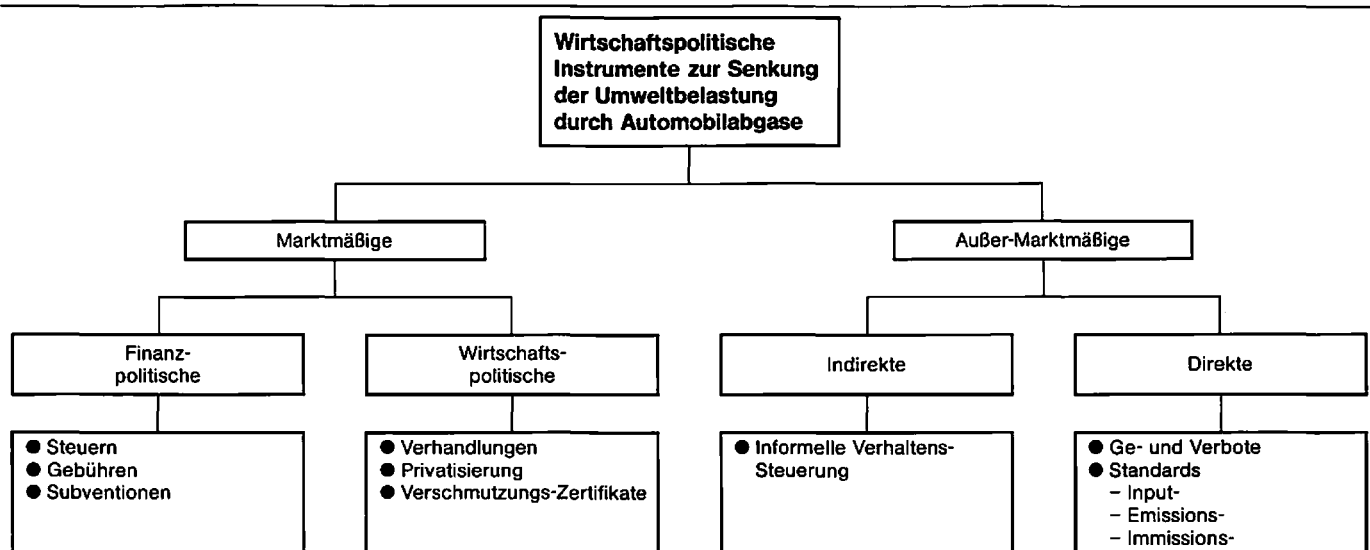
Im Falle des Konsumenten bestehen keine Anreize für Einzelpersonen, von sich aus den eigenen Anteil an der Luftverunreinigung durch weniger Autofahren oder den Einbau von Abgasreinigungsgeräten zu reduzieren, da jeder Autofahrer die Aussichtslosigkeit seines Unterfangens erkennt, mit dem Luftverunreinigungsproblem allein fertig zu werden {1152}.

Auf der anderen Seite kann die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß jeder Autofahrer einsieht, daß nur gemeinsame Anstrengungen jedes Einzelnen die Luftqualität zu verbessern helfen ("Gefangenendilemma": Wenn alle Fahrer ihren Anteil an der Luftverunreinigung verringern, werden alle davon profitieren, sofern sie nicht alle ihren Schadstoffausstoß begrenzen, werden sie alle darunter leiden). Solange alle Wirtschaftssubjekte den Nutzen auf der Grundlage privater Kosten und Vorteile maximieren, wird die Mehrheit der Autofahrer erkennen, daß sie besser gestellt ist, wenn sie ihren schädlichen Beitrag keinen Begrenzungen unterwirft. Auf diese Weise verursachen alle Autofahrer gemeinsam ein "negatives" öffentliches Gut ("public bad"). Da also von einer freiwilligen Übernahme der sozialen Kosten weder in Form von direkten Verhandlungen zwischen Schädigern und Geschädigten (beide Gruppen sind ja in diesem Fall identisch) oder einer gemeinsamen Aktion der Wirtschaftssubjekte eine Lösung des Problems der Luftqualitätsbelastung durch Automobilabgase erwartet werden kann, erweist sich eine aktive staatliche Luftreinhaltungspolitik gegenüber dem Automobil als unumgänglich {1153}.

Bei einem gravierenden Abweichen der einzelwirtschaftlichen Optima von einem möglichen gesamtgesellschaftlichen Optimum halten es D. Marx und R. Knigge für gerechtfertigt, wenn die staatlichen Instanzen die Wirtschaftssubjekte zwingen, schon bei der Aufstellung ihrer Wirtschaftspläne die sozialen Kosten in der einzelwirtschaftlichen Kalkulation zu berücksichtigen: "Ohne diesen gesellschaftlichen Zwang bietet die wirtschaftliche Rationalität des Prinzips der (einzelwirtschaftlichen) Kostenminimierung oder Maximierung der angestrebten Nettoerträge keinen Schutz gegen die Zerstörung der ökologischen Gleichgewichte und damit gegen eine weitere Verschlechterung der menschlichen Lebensbedingungen" {1154}.

Staatliche Luftreinhaltungspolitik gegenüber dem Automobil könnte sich nun in zwei Richtungen orientieren: {1155}:

- zur Beeinflussung der Verbraucher  
(Anwendung des Verursacherprinzips)
- zur Beeinflussung des Produzenten  
(Anwendung des Vorsorgeprinzips)



		Maßnahme	Kriterium	Ökologische Effizienz	Ökonomische Effizienz	Praktikabilität	Reversibilität Flexibilität	System-Konformität	Verteilungsgerechtigkeit
Außer-Marktmäßige	Indirekte	Informelle Verhaltens-Steuerung		—	—	0	0	+	+
	Direkte	Spezielle Ge- und Verbote		+	0	+	0	—	+
		Input-, Emissions-, Immissions-Standards		+	—	0	—	—	+
Marktmäßige	Finanzpolitische	Steuern		—	+	—	0	+	0
		Gebühren		0	+	0	0	+	0
		Subventionen		—	—	—	—	0	—
	Wirtschaftspolitische	Verhandlungen		—	0	—	0	0	0
		Privatisierungen		0	0	—	0	0	—
		Verschmutzungszertifikate		+	+	—	+	+	—

+ = gute Effizienz; — = schlechte Effizienz; 0 = indifferent

**Bild VIII.2:** Wirtschaftspolitische Instrumente zur Senkung der Umweltbelastung durch Automobilabgase und Versuch einer Bewertung der Effizienz dieser möglichen „Internalisierungs-Strategien“, nach [1156].

Die verwendeten Instrumente unterscheiden sich nach [1156] vor allem darin, ob sie zur Erreichung des umweltpolitischen Zieles im Hinblick auf den Adressaten eher gesellschaftlicher (Schaffung neuer Verhaltensmuster), politisch-administrativer (direkter staatlicher Zwang) oder marktkonformer Natur sind. Die in Betracht kommenden wirtschaftspolitischen Instrumente sind einschließlich eines Versuchs der Bewertung ihrer Effizienz in Bild VIII-2 zusammengestellt. Die in diesem Bild angesprochenen Internalisierungsstrategien, wie:

- informelle Verhaltenssteuerung in Form der "moral suasion" und Aufklärung der Öffentlichkeit,
- direkte Verhaltensregulierung in Form von Verboten, Geboten oder Auflagen,
- Abgaben oder Steuern,
- Vermarktung oder Verkauf von Verschmutzungs- oder Benutzungsrechten,
- ausgabenpolitische Lösungen.

werden unter Beachtung einer Vielzahl von "policy"-Erwägungen, wie Freiheitswahrung, Systemkonformität, Verhältnismäßigkeit, Zumutbarkeit für Betroffene und Gesamtwirt-

schaft sowie Effizienz ausgewählt. Mit der Auswahl der Maßnahme wird gleichzeitig der Adressat festgelegt {1158}.

Informelle Einflußnahmen sind zwar regulatorischen zumindest so lange vorzuziehen, wie die Grenzwerte der Umweltbelastung durch Autoabgase noch nicht erreicht sind, bei deren Überschreiten mit gesundheitsschädigenden Wirkungen zu rechnen ist. Ein allzu großer Optimismus in ihrer Wirksamkeit ist jedoch nicht angebracht, da der Erfolg einer solchen "moral suasion" stets davon abhängt, ob das empfohlene Verhalten nicht zu sehr den materiellen und persönlichen Interessen des Adressaten zuwiderläuft {1159}.

Letzterer Gesichtspunkt gilt sowohl für den Autofahrer wie auch für die Automobilindustrie: So lange nicht gewährleistet ist, daß alle Konkurrenten im In- und Ausland emissionsreduzierende Maßnahmen am Kraftfahrzeug vornehmen, sind individuelle Emissionskontrollmaßnahmen unwahrscheinlich {1159}.

Aus dem zuvor Gesagten wird deutlich, weshalb bei den drei in dieser Arbeit behandelten Ländern nahezu ausschließlich Maßnahmen einer direkten Verhaltenssteuerung (hier: auf die Automobilindustrie bezogen) diskutiert wurden. Für künftige Gesetzgebungswerke muß aufgrund der besonders an den Fällen USA und Japan dargestellten "suspension"-Situationen beachtet werden, daß sich bei Anwendung von Maßnahmen direkter Verhaltenssteuerung die Wirkungsweise von Auflagen nicht dadurch beliebig beschleunigen läßt, daß der Zeitraum des Inkrafttretens von solchen Emissionskontrollvorschriften verkürzt wird. Unter Zwang und Zeitdruck, bestimmte Werte einhalten zu müssen, können sogar Entscheidungen zugunsten eines Verfahrens gefällt werden, die sich später in Hinblick auf die Erreichung von Ziel und Kosten als nachteilig erweisen (z. B. der in den USA beinahe erzwungene Einsatz einer noch nicht fertigen Abgasrückführungstechnologie zur kurzfristigen Erfüllung von  $\text{NO}_x$ -Grenzwerten am Pkw-Diesel-Motor, die zwar  $\text{NO}_x$  wie gewünscht absenkt, aber andererseits zum Anstieg von Partikelemissionen und erhöhter Emission von nicht limitierten Schadstoffen geführt hätte).

Da die Auflagen-Strategie außer einer hohen Irrtumswahrscheinlichkeit weitere Nachteile aufweist (wie z. B. Mit-Abhängigkeit des Wirkungseinsetzens von der Umstrukturierung der Fahrzeugpopulation, Fehlen wirksamer Kontrollen und realisierbarer Eingriffe bei Nichterfüllen durch die Automobilindustrie, Verursachung zu hoher volkswirtschaftlicher Kosten und zu geringer ökologischer Effizienz durch Anwendung innerhalb einer "one car strategy"), sind alternative wirtschaftspolitische Instrumente auf ihre Eignung, die weitere Entwicklung der Kraftfahrzeuge im Sinne der Umweltziele zu lenken, zu überprüfen {1160}.

Hier werden von Stork {9} und Wohlgemuth {1161} gebührenpolitische Instrumente vorgeschlagen. Stork zielt darauf ab, die Automobilindustrie mit zusätzlichen Gebühren, den sogenannten "emission fees", zu belasten. Hierbei bleiben die Auflage (der Stan-

dard) nach wie vor gesetzlich vorgeschrieben und müssen auch direkt erfüllt werden. Die "fees" stellen damit eine zusätzliche Abgabe bei Nichteinhalten der Auflage (Überschreiten des Standards) dar. Bei sehr gutem Erfüllen der Auflage (Unterschreiten des Standards) würden entsprechende "bonus"-Zahlungen an den Automobilhersteller erfolgen. Der Stork-Vorschlag bezieht sich hierbei auf das Emissionsverhalten von Fahrzeugen im Feldeinsatz. Diese Maßnahmen würden sowohl den Automobilkauf wie -betrieb weiter verteuern und eine umfangreiche Kontrollorganisation erfordern. Außerdem bereitet die Bemessungsgrundlage der einzuziehenden Gebühr Schwierigkeiten. Andererseits würde sie jedoch, im Gegensatz zur Auflage - bei der eine Schadstoffreduzierung über den vorgeschriebenen Reduktionsgrad hinaus der Gewinnmaximierungszielsetzung zuwiderlaufen würde - einen ständigen Anreiz zur Emissionsminderung bieten.

Wohlgemuth geht dagegen von einem etablierten Zusammenhang zwischen einer zu erfüllenden Auflage (einem zu fordernden Standard) und den äquivalenten Kosten aus und will damit durch eine Gebühr das Einhalten der gesetzlichen Auflage (des Standards) erreichen. Diese Gebühr wäre also als ein von jedem Automobilhersteller gleichermaßen geforderter finanzieller Einsatz *anstelle* der Auflage (des Standards) fest vorgegeben. Wie Bild VIII-3 zeigt, fallen bei einer derartigen Gebührenstrategie geringere volkswirtschaftliche Gesamtkosten an als bei der Auflagenstrategie: Im Beispiel sei ange-

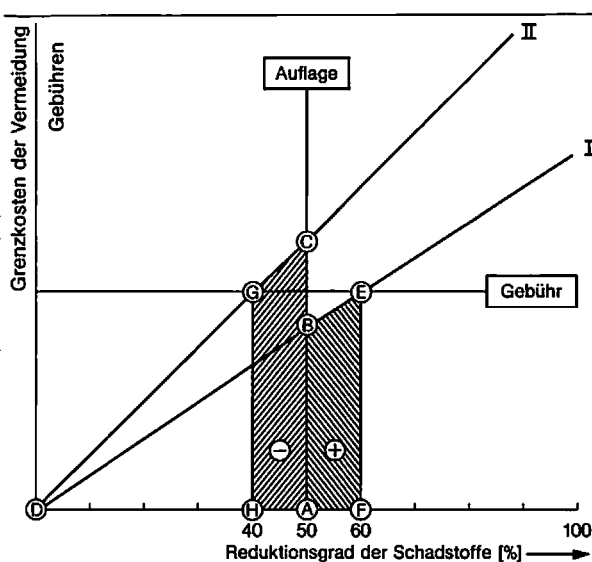


Bild VIII-3: Vergleich der Kosten für zwei verschiedene Automobilhersteller (I und II) bei Emissionsverringerung durch Auflagen oder durch Abgaben, [116].

nommen, daß zwei Unternehmen unterschiedliche Kostenverläufe bei ihren Reinigungsverfahren aufweisen. Wird die Auflage angewendet, so bewirkt sie, daß beide Unternehmen denselben Reinigungsgrad garantieren müssen, nämlich 50 %. Dabei entstehen Kosten in Höhe der Fläche ABD (für Unternehmen I) und ACD (für Unternehmen II). Die Einführung der Gebühr führt dazu, daß die Unternehmen nicht mehr genau 50 % reinigen/verschmutzen, sondern sie werden ihre Vermeidungstechnologie so weit einsetzen, bis ihre Kosten den Gebühren gleich sind. Die Unternehmung I reinigt nun zu 60 % mit Kosten in Höhe von EFD, die Unternehmung II dagegen

nur zu 40 % mit Kosten in Höhe von GHD. In Höhe der Differenz der mit (+) und (-) bezeichneten Flächen besteht eine gesamtwirtschaftliche Kostenersparnis.

Je nach dem Anwendungsprinzip von "Gebührensyste-men" würden Gebühren aber auch - obwohl sie in ihrer lenkungsfunktionalen Eigenschaft einen massiven ökonomischen Hebel gegenüber der Automobilindustrie darstellen - gegen das Gleichheitsprinzip verstoßen, wenn Gebührenzahlungen von einigen Herstellern echten Umweltschutzbestre-bungen vorgezogen werden können. In diesem Fall würde durch eine Gebührenstrategie zwar die Allokation der sozialen Kosten aber nicht notwendigerweise die Umweltsituation verbessert,

ein Mangel, der sowohl der schon in der Zusammenfassung erwähnten Pigou-Steuer wie auch dem in Teil VII Kap.5.2.1 diskutierten Stork-Vorschlag eigen ist.

Die Betrachtungen zum Thema Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen müssen nach den Erfahrungen der zurückliegenden Jahre trotz der erreichten und noch zu erwartenden Verbesserungen mit einer pessimistischen Prognose für die Zukunft abgeschlossen werden. Strategien zur Luftreinhaltung – und dies dürfte leider auch für andere Bereiche des Umweltschutzes zutreffen – werden meist nur so lange als relevant betrachtet, wie sich ein Land in einer starken und stabilen wirtschaftlichen Situation befindet. Ist diese Situation nicht gegeben oder gefährdet, so werden Einsparungen sehr schnell am oft als unnötig Kosten verursachenden Umweltschutz realisiert. Als bestes Beispiel zur Untermauerung dieser Behauptung können die USA zitiert werden, wo der Weg von einer extremen Emissionskontrollgesetzgebung zu Zeiten wirtschaftlichen Wohlstandes bis zum unbegrenzten Aufschub bestimmter Normen in der jüngsten Zeit mit der seit Jahren schlechtesten gesamtwirtschaftlichen Lage und speziellen Schwierigkeiten der US-Automobilindustrie verfolgt werden konnte.

Werden die Grundlagen unseres Lebensstandards, d.h. eine derzeit ausreichende und künftig noch steigende Energieversorgung, weiterhin gefährdet oder gar abgebaut, dürften auch objektiv notwendige Aufwendungen zum Erhalt oder zur Verbesserung der Umweltqualität hinter die Interessen zur Verteidigung dieses Lebensstandards zurücktreten. Der Kampf um die Erhaltung oder sogar weitere Steigerung dieses Lebensstandards in den derzeit wirtschaftskräftigen Industrieländern muß darüber hinaus in Verbindung mit dem verständlichen Interesse am Erwerb eines ähnlichen Wohlstandes in den heute noch als Entwicklungsländer bezeichneten Staaten gesehen werden. Wenn die aus den in diesem Zusammenhang zu erwartenden weiter steigenden Produktions- und Konsumprozessen anfallenden Schadstoffbelastungen aufgrund kurzsichtiger Vernachlässigung entsprechender Umweltschutzbemühungen die Assimilationskapazitäten der Umwelt (Boden – Wasser – Luft) überschreiten, sind irreversible Schädigungen des den folgenden Generationen überlassenen Lebensraumes zu erwarten.

Der Leser dieser Arbeit sei angeregt, diese – am Beispiel der Emissionskontrolle an Kraftfahrzeugen hergeleitete – Problematik auf andere Bereiche der Wirtschaft zu übertragen.



## **Literatur**

- ( 1 ) Wilhelm, H. Volkswirtschaftslehre für Ingenieure, Essen: Giradet 1980 (Giradet-Taschenbücher; Bd. 38), ISBN 3-7736-0168-9, S. 12
- ( 2 ) - California Test Procedure And Criteria For Motor Vehicle Exhaust Emission Control; Part III: Criteria Evaluation, S. 11, criterion 1: "... nor should the installation of such device create a noxious or toxic effect in the ambient air;" sowie S. 12: "The object will be to determine if an emitted substance would result from a particular device in concentrations which would, from a foreseeable, predictable stand point have a general toxic effect on the population." State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board, 31.10.1961.
- ( 3 ) Pesch, H. Lehrbuch der Nationalökonomie, 1.Bd., Freiburg 1905, S. 22 (zitiert in: Umweltschutz und Wirtschaftswachstum; Symposium für wirtschaftliche und rechtliche Fragen des Umweltschutzes an der Hochschule St. Gallen; München 1972, ISBN 3-405-11189-7, hier: Beitrag von W.A. Jöhr: Bedrohte Umwelt. Die Nationalökonomie vor neuen Aufgaben; S. 43 und 50)
- ( 4 ) Philippovich, E. v. Grundriß der politischen Ökonomie. 1. Bd., 9. Aufl. Tübingen 1911, S. 34 (zitiert in: Umweltschutz und Wirtschaftswachstum ... (siehe (3), S. 43)
- ( 5 ) Frey, B. S. . Umweltökonomie, Göttingen 1972, ISBN 3-525-33329-3, S. 10
- ( 6 ) Pigou, A. C. The Economics of Welfare, 4. Aufl. 1932, S. 172 ff. (zitiert in: Umweltschutz und Wirtschaftswachstum ... (siehe (3); S. 78/79 und S. 193 bis 195).
- Für den interessierten Leser sei auf folgende weitere Literatur zum Thema der "externen" oder "sozialen" Kosten verwiesen:
- Kapp, K.W., Social Costs and Social Benefits, A Contribution to Normative Economics (in: E.V. Beckerath, H. Giersch und H. Lampert (ed.): Probleme der normativen Ökonomik und der wirtschaftspolitischen Beratung, Berlin 1963, S. 183 ff.
  - Lauschmann, E., Zur Frage der "Social Costs", (in: Jahrbuch für Sozialwissenschaft, Bd. 10, 1959, S. 193 ff)
  - Borchardt, K., Volkswirtschaftliche Kostenrechnung und Eigentumsverteilung. Bemerkungen zum Problem der Sozialkosten, (in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd. 178, 1965)
  - Werner, J., zur Problematik der sozialen Kosten, (in: Weltwirtschaftliches Archiv, Bd. 98, 1967, S. 92 ff)
  - Link, B., Social Costs. Die Lösung des Problems der "Social Costs" als Ansatz einer Theorie der Wirtschaftspolitik, Bern 1969
- ( 7 ) Reh binder, E. Politische und rechtliche Probleme des Verursacherprinzips (Beiträge zur Umweltgestaltung, Heft A 15), Berlin 1873, S. 143
- ( 8 ) Baumol, W.J. Oates, W.E. The Use of Standards and Prices for Protection of the Environment, in: Bohm and Kneese: Economics of Environment, London 1971, S. 53/65, (zitiert in: Wohlgemuth, F., Überlegungen zu einer pragmatischen Gebührenstrategie im Rahmen einer umweltorientierten Energiepolitik - Umweltgebühren als Alternativen zur Auflage, in: Brennstoff-Wärme-Kraft 26 (1974), Nr. 12, Dezember, S. 491 bis 494, hier zit. von Seiten 492/493)
- ( 9 ) Stork, E.O. Issues related to Control of Exhaust Emissions from Automobiles in Sweden (Report of the National Swedish Environmental Protection Board, SNV-PM 1253, Solna, January 1980, ISBN 91-7590-027-0, S. 31 bis 35
- (10) Dales, H. J. Pollution, Property and Prices, University of Toronto Press, 1968 (zitiert in: Umweltschutz und Wirtschaftswachstum ... (siehe (3), S. 198)
- (11) Sass, F. Geschichte des deutschen Verbrennungsmotorenbaues von 1860 bis 1918. Berlin - Göttingen - Heidelberg, 1962.
- (12) Kamm, W. Anforderungen an Kraftwagen bei Dauerfahrten. Z. d. VDI, Bd. 77, Nr. 42, 21.10.1933, S. 1129 bis 1133
- (13) Kamm, W. Schmid, C. Riekert, P. Huber, L. Einfluß der Reichsautobahnen auf die Gestaltung der Kraftfahrzeuge. ATZ, Heft 13, 1934, S. 341 bis 354
- (14) Kamm, W. Der künftige Autobahnwagen. Auszug aus einem auf der Mitgliederversammlung der Forschungsgesellschaft für deutsches Straßenwesen e. V. in Salzburg gehaltenen Vortrag; NKZ 1938, Nr. 38, S. 943/944
- (15) Kamm, W. Die Entwicklungseinrichtungen im Kraftfahrwesen. Z. d. VDI, Bd. 82, Nr. 33, 13.08.1938, S. 945 bis 953
- (16) Fiedler, F. Kamm, W. Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Personenwagens. Z.d.VDI Bd. 84, Nr. 28, 13.07.1940, S. 485 bis 491

- (17) Kamm,W. Grundlagen des leistungsfähigen billigen Wagens. ATZ 53 (1951)7, S. 177 bis 182
- (18) Kamm,W. Beobachtungen und Erfahrungen aus 40-jähriger Tätigkeit für das Kraftfahrzeug. ATZ 63 (1961)6, S. 181 bis 189
- (19) Goldbeck,G. Entwicklung des Verbrennungsmotors in Deutz. MTZ 25(1964)10, S. 376 bis 382.
- (20) Haas,H. Stand und Aussichten der Verbrennungskraftmaschine in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. MTZ 25(1964)10, S. 370 bis 375.
- (21) Schildberger,F. Beginn und frühe Ausweitung der Motorisierung des Verkehrs im europäischen Raum und in den USA. ATZ 78 (1976)11, S. 465 bis 472
- (22) Eberan-Eberhorst, R. 100 Jahre Viertakt-Ottomotor. Der Weg vom Deutzer Gasmotor 1876 zum Automobilmotor der ganzen Welt. ATZ 78 (1976)7/8, S. 311 bis 317
- (23) Gibson,H.H. One Hundred Years of the Otto Cycle Engine. SAE Paper 760001
- (24) Cummins,C.L. The First Century of the Otto Engine. Automotive Engng., July 1976, Vol. 84, No. 7, S. 36 bis 45
- (25) Eberan-Eberhorst,R. Betrachtungen über das Automobil von morgen. ATZ 63 (1961)9, S. 266 bis 274
- (26) Rauck,M.J.B. Über die konstruktive Entwicklung der Personenwagen von 1886 bis 1930, Teil 1: ATZ 63 (1961)6, S. 164 bis 172; Teil 2: ATZ 63 (1961)7, S. 205 bis 213
- (27) Porsche,F. Professor Porsche, 50 Jahre Arbeit für das Kraftfahrzeug. ATZ 63 (1961)6, S. 172 bis 181
- (28) Leunig,G. Zwei Möglichkeiten Kraftfahrtechnischer Entwicklung. ATZ 51 (1942)2, S. 25 bis 29
- (29) Müller,H.  
Rohde,S.  
Klink,G. Gemischbildung, Verbrennung und Abgas im Ottomotor (Fachbibliographie mit Referenten bis 1965). Technische Universität Braunschweig, 1972.
- (30) Liptak,B.G. Environmental Engineer's Handbook, Vol. 2, Air Pollution. Radnor, Pennsylvania, 1974, ISBN 0-8019-5692-7, S. 134
- (31) Urone,P. The Primary Air Pollutants-Gaseous; Their Occurrence, Sources and Effects. Chapter 2 in: Stern, A.C.: Air Pollution, Vol. I, New York-San Francisco-London; ISBN 0-12-666601-6, S. 27
- (32) Urone,P. a.a.O. (31), S. 24
- (33) Liptak,B.G. a.a.O. (30), S. 38 bis 41 sowie 76, 136/137
- (34) Urone,P. a.a.O. (31), S. 38, 55
- (35) Whelpdale,D.M.  
Munn,R.E. Global Sources, Sinks and Transport of Air Pollution. Chapter 7 in: Stern, A.C.: Air Pollution, Vol. I, a.a.O. (31), S. 294 bis 297
- (36) Bach,W. Zur Strategie der Luftreinhaltung. Konzept eines neuen Überwachungssystems. Forschungsstelle für angewandte Klimatologie und Umweltstudien, Institut für Geographie, Universität Münster, Dezember 1979
- (37) Bach,W.  
Breuer,G. Wie dringend ist das CO<sub>2</sub>-Problem? Energiepolitische Empfehlungen der internationalen Energie/Klima-Konferenz vom 3. bis 7. März 1980 in Münster; in: Umschau 80 (1980) Heft 17, S. 520 bis 524
- (38) Bach,W. Klimateffekte anthropogener Energieumwandlung. Sonderdruck aus Technische Mitteilungen, 73. Jahrg., Heft 6-7/80, S. 496 bis 510, Essen, Haus der Technik
- (39) Bach,W.  
Jung,J. Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Kompensation der Auswirkung von CO<sub>2</sub>-Anreicherungen in der Atmosphäre, Forschungsstelle...(siehe (36)), Münster, Juli 1980
- (40) Bach,W.  
Schwanhäusser,G. A Critical Review of Emission and Ambient Air Quality Control Legislation in Selected Countries, presented at: The Fourth International Clean Air Congress in Tokyo, 16. bis 20.05.1977; Center for Applied Climatology and Environmental Studies, Dept. of Geography, University of Münster, Federal Republic of Germany; S. 883 bis 887
- (41) Cadle,R.D. Global Monitoring and Surveillance of Air Pollution. Chapter 13 in: Stern, A.C.: Air Pollution, Vol. III, New York - San Francisco - London, 1976, ISBN 0-12-666603-2, S. 488
- (42) Georgii,H.-W. Globale Aspekte der Luftverunreinigung. Kap. 3.4.2, S. 217 bis 224 in: Olschowy, G.: Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland. Hamburg und Berlin. ISBN 3-490-21118-9

- (43) Urone, P. a.a.O. (31), S. 47
- (44) Böttcher, W. Die Reinhaltung der Luft als wirtschaftspolitisches Problem - dargestellt am Beispiel der Umweltbelastung durch Autoabgase. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1976, S. 14
- (45) Böttcher, W. a.a.O. (44), S. 15
- (46) Patterson, D.J. Emissions from Combustion Engines and Their Control. Ann Arbor, Michigan 1974, ISBN 0-250-97514-9, S. 8
- (47) Böttcher, W. a.a.O. (44), S. 16
- (48) Böttcher, W. a.a.O. (44), Tab. 2
- (49) Patterson, D.J. a.a.O. (46), S. 9
- (50) Patterson, D.J. a.a.O. (46), S. 11
- (51) - Kurbelgehäusegase. Eine Untersuchung mit Vorschlägen für zu treffende Maßnahmen, herausgegeben von der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums, betreffend die Entwicklungsarbeiten auf dem Fahrzeugabgasgebiet. Originaltitel: Vevhugaser (Utrredning med förslag till åtgärder av Kommunikationsdepartementets ledningsgrupp rörande utvecklingsarbete på bilavgasområdet). Führungsgruppe des Schwedischen Verkehrsministeriums, Stockholm 31.03.1967, S.2/3
- (52) Bennet, P.A. Reduction of Air Pollution by Control of Emission from Automotive Crankcases. SAE Paper No. 142 A, January 1960, in: SAE Vehicle Emissions, Part I, PT Vol. 6, S. 233
- (53) - a.a.O. (51), S. 4
- (54) Stone, R.K. in der Diskussion von (52), S. 248  
Kipp, K.L.  
Harkins, J.
- (55) - a.a.O. (51), S. 2, Kap. 2.2
- (56) Bennet, P.A. a.a.O. (52), S. 227
- (57) Maga, J.A. in der Diskussion von (52), S. 246, 248  
Faith, W.L.
- (58) Bennet, P.A. a.a.O. (52), Schlußbemerkungen des Autors zu (52), S. 253
- (59) - a.a.O. (51), S.3
- (60) - a.a.O. (51), S. 2, Kap. 2.1
- (61) Hass, G.C. The Control of Crankcase Hydrocarbon Losses. SAE Paper No. 723B, August 1963, in: SAE Vehicle Emissions, Part II, PT Vol. 12, S. 430
- (62) - a.a.O. (51), S. 1
- (63) Martens, S.W. Measurement of Total Vehicle Evaporative Emissions. SAE Paper No. 680125, in: SAE Vehicle Emissions, Part III, PT Vol. 14, S. 194
- (64) Ebersole, G.D. An Evaluation of Automobile Total Hydrocarbon Emissions - originally published in SAE Transactions, Vol. 75 (1967) - Seite 420 in: SAE Vehicle Emissions, Part II, PT Vol. 12, S. 420
- (65) Patterson, D.J. a.a.O. (46), S. 185
- (66) Patterson, D.J. a.a.O. (46), S. 181
- (67) Schaldenbrand, H. in Diskussion des SAE Papers von Muller, H. et al. (Determining the Amount and Composition of Evaporation Losses from Automotive Fuel Systems, originally published in SAE Transactions, Vol. 75, 1967) Seite 411 in SAE Vehicle Emissions, Part II, PT Vol. 12
- (68) Patterson, D.J. a.a.O. (46), S. 48
- (69) dto. a.a.O. (46), S. 60
- (70) dto. a.a.O. (46), S. 182
- (71) dto. a.a.O. (46), S. 183
- (72) dto. a.a.O. (46), S. 187
- (73) dto. a.a.O. (46), S. 186
- (74) dto. a.a.O. (46), S. 181 und 188
- (75) dto. a.a.O. (46), S. 190

- (76) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 192
- (77) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 193
- (78) Olson, D.R. The Control of Motor Vehicle Emissions, Chapter 14, zitiert in: Stern, A.C., Air Pollution Vol. IV; Engineering Control of Air Pollution; New York - San Francisco - London, 1977, S. 601
- (79) Obländer, K. Abgasreinigung an Kraftfahrzeugen - Meßverfahren und Testzyklen; Sonderdruck aus ATZ 71(1969)4, S. 7
- (80) Daniel, W.A. Flame Quenching at the Walls of an Internal Combustion Engine. 6th Symposium on Combustion (New York: 1957), S. 886
- (81) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 123
- (82) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 124
- (83) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 158
- (84) Daniel, W.A. Exhaust Gas Hydrocarbons - Genesis and Exodus. SAE Paper No. 486B, March 1962; in: SEA Vehicle Emissions, Part I, PT Vol. 6, S. 198
- (85) Daniel, W.A. a.a.O.(84), S. 197
- (86) Eyzat, P. A New Look at Nitrogen Oxides Formation in Internal Combustion Engines. SAE Paper No. 680124, S. 2
- (87) Zeldovich, Y.B. Oxidation of Nitrogen in Combustion. Academy of Sciences, USSR, Moscow-Leningrad (1947)
- (88) Lavoie, G.A. Experimental and Theoretical Study of Nitric Oxide Formation in Internal Combustion Engines. Combustion Science Technology 1 (1970), S. 313
- (89) Fenimore, C.P. Formation of Nitric Oxide in Permixed Hydrocarbon Flames. 13th International Symposium on Combustion, Salt Lake City, August 1970
- (90) Löhner, K. Die Brennkraftmaschine (Innenvorgänge und Gestaltung) Düsseldorf, 1963, S. 90
- (91) Löhner, K. Gemischbildung und Verbrennung im Otto-Motor (Band 6 von: List, H. Die Verbrennungskraftmaschine; Wien/New York 1967, S. 10
- (92) Foster, J.M. Gasoline Antiknock Quality - are Road Ratings necessary? The Associated Octel Company Limited, Serial No. OP 64/2 (zitiert in: Löhner, K. ... a.a.O.(91), S. 10, Abb. 4
- (93) Abthoff, J. Erprobung einer neuen Meßmethode zur direkten Blei emissionsbestimmung im Autoabgas mit Hilfe der Atomabsorption während instationärer Fahrzyklen. Sonderdruck aus MTZ 39 (1978)10, S. 3
- (94) - Diesellabgase - eine Untersuchung mit Vorschlägen für zu treffende Maßnahmen, herausgegeben von der Führungsgruppe des Verkehrsministeriums betreffend die Entwicklungsarbeiten auf dem Fahrzeugabgasgebiet: Originaltitel: Diesellavgaser - Utredning med förslag till åtgärder. Führungsgruppe des Schwedischen Verkehrsministeriums. Stencil K 1967: 8, Stockholm. September 1967, S. 3
- (95) Hardenberg, H. Untersuchungen über den Einfluß der Verbrennungsluft-Zusammensetzung auf die Rußbildung in Dieselmotoren. Dissertation, Technische Universität Wien, 1975, S. 8/9
- (96) Hardenberg, H. a.a.O.(95), S. 13/14
- (97) Sjögren, A. Soot Formation by Combustion of an Atomized Liquid Fuel. 14. Symposium (International) on Combustion (1973), S. 919 (zitiert in: Hardenberg, H. ... a.a.O.(95), S. 15)
- (98) Hardenberg, H. a.a.O.(95), S. 15
- (99) Hardenberg, H. a.a.O.(95), S. 17/18
- (100) Obert, E.F. Internal Combustion Engines and Air Pollution. New York and London, 1973, SBN 7002 21832, S. 113
- (101) Hurn, R.W. Air Pollution and the Compression Ignition Engine. 12th International Symposium on Combustion, Pittsburgh, Pa.: The Combustion Institute, 1969, S. 677 bis 687

- (102) Gwinner, D. Der Mercedes-Benz PKW-Dieselmotor (Stand der Technik im Hinblick auf die Abgaseigenschaften und Maßnahmen, die in der Zukunft eine Verbesserung der umweltbeeinflussenden Eigenschaften bewirken sollen). Bericht vor dem Hauptkomitee des "Mobile Source Pollution Control Program" an der National Academy of Sciences, Washington, August 1972, Fig. 4 und S. 5
- (103) Eyzat, P.  
Guibet, J.C. a.a.O.(86), S. 3
- (104) Schmidt, H.G. Vergleich möglicher Brennverfahren und ihrer Schadstoffemissionen am schnellaufenden Mercedes-Benz PKW-Dieselmotor. Referat an der ETH Zürich am 6.2.1974, S. 16 bis 17.
- (105) - Report on the Present State of the Art of Particulate Matter Emissions with Emphasis on Diesel Powered Passenger Cars (Bericht der Daimler-Benz AG, Stuttgart, an die US-EPA vom Dezember 1977, S. 4
- (106) Obert, E.F. a.a.O.(100), S. 620
- (107) - a.a.O.(105), S. 7 und 8
- (108) Hardenberg, H. Untersuchungen zur Entstehung und Beseitigung von Kraftstoffrauch und Abgasgeruch; MTZ 33 (1972) 6; S. 248
- (109) Weissbach, K. Vergleich verschiedener Rauchmeßverfahren zur Beurteilung der Rußemission von PKW-Dieselmotoren unter dem Gesichtspunkt einer vereinheitlichten Gesetzgebung. Studienabschlußarbeit bei der Daimler-Benz AG, 1976, S. 14/15
- (110) Hardenberg, H. a.a.O.(95), S. 18
- (111) Gollahalli, S.R.  
Brzustowski, T.A. Experimental Studies on the Flame Structure in the Wake of a Burning Droplet. 14. Symposium (International) on Combustion (1973), S. 1333 (zitiert in (95), S. 18/19)
- (112) Hardenberg, H. a.a.O.(95), S. 19
- (113) Metz, N. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben "Ruß- und Geruchsbeseitigung bei Dieselmotoren", BMFT-NTÜ 109, 31.12.1975, S. 4/5
- (114) Broome, D.  
Khan, I.M. The Mechanismus of Soot Release from Combustion of Hydrocarbon Fuels with Particular Reference to the Diesel Engine. Inst. Mech. Engrs. (1972), Paper C 140/71, S. 185 (zitiert in (95), S. 9)
- (115) Bone, W.A.  
Townend, D.T.A. Flame and Combustion in Gases. London (1927); S. 407 (zitiert in (95), S. 9)
- (116) Chakraborty, B.B.  
Long, R. The Formation of Soot and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diffusion Flames - Part I. Combustion and Flame (1968) S. 226 (zitiert in (95), S.9)
- (117) Chakraborty, B.B.  
Long, R. The Formation of Soot and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Diffusion Flames - Part II. Combustion and Flame (1968) S. 237 (zitiert in (95), S.9)
- (118) Chakraborty, B.B.  
Long, R. The Formation of Soot and Polycyclic Hydrocarbons in Diffusion Flames III- Effect of Additions of Oxygen to Ethylene and Ethane Respectively as Fuels. Combustion and Flame (1968) S. 469 (zitiert in (95), S. 9)
- (119) Howard, J.B. On the Mechanism of Carbon Formation in Flames. 12. Symposium (International) on Combustion (1969), S. 877 (zitiert in (95), S. 10)
- (120) Homann, K.H. Carbon Formation in Permixed Flames. Combustion and Flame (1967), S. 265 (zitiert in (95), S. 10)
- (121) Hilburger, W. Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Rußentstehung und Rußemission bei der dieselmotorischen Verbrennung. Diplomarbeit, Technische Universität Stuttgart, 1976, S. 22
- (122) - a.a.O.(105), S. 6 bis 13
- (123) - Entstehung, Emission, Verbleib und Wirkung von Abgaspartikeln unter besonderer Berücksichtigung des Dieselmotors (hausinterne Studie der Daimler-Benz AG, Stuttgart, über den derzeitigen Wissensstand, Mai 1978, S. 51
- (124) - a.a.O.(123), S. 34
- (125) - Exhibits to Particulate Matter Report (Bilder zum Bericht der Daimler-Benz AG, Stuttgart, an die US-EPA (105), Dezember 1977, Exhibit 19/34
- (126) - a.a.O.(125), Exhibit 19/36
- (127) Metz, N. a.a.O.(113), S. 3
- (128) Springer, K.J.  
Baines, M. Emissions from Diesel Versions of Production Passenger Cars; SAE-Paper 7708018, S.2 (Table 1), S. 5 (Table 3), S. 10 (Table 7, Fig.13), S. 14 (Fig.21).

- (129) Hare, C.T.  
Baines, T.M. Characterization of Particulate and Gaseous Emissions from Two Diesel Automobiles as Functions of Fuel and Driving Cycle; SAE Paper 790424; S.11 (Table 7), S.14 (Table 8), S.20 (Table 10), S.22 (Table 13). Hinweis: Die in Bild I.2-50 für den Mercedes-Benz 240 D angegebenen HC-, CO- und NO<sub>x</sub>-Werte basieren auf Zertifizierungsunterlagen der Abt. VIMA (Daimler-Benz A.G.)
- (130) - Tatsachen und Zahlen aus der Kraftverkehrswirtschaft; verschiedene Folgen der Schriftenreihe vom Verband der Automobilindustrie (VDA). (Jahr der Folge/Seitenzahl: 1958/367; 1961/330; 1963/350; 1966/336; 1969/368; 1970/395; 1971/343; 1972/353; 1973/432; 1974/373; 1975/395; 1977/399)
- (131) - a.a.O.(130), jeweils auf verschiedenen Seiten von Kap. 10 dieser VDA-Schriften
- (132) Kuhlmann, K.R. The Automobile Industry in 1976: An International Survey. Staff Report ER-23, Office of Economic Research, International Economic Policy and Research, Domestic and International Business Administration, US Department of Commerce, August 1977
- (133) Kelly, R.  
Misisco, H. The Automobile Industry in 1974. An International Survey. Staff Report ER-8, Office of Economic Research, International Economic Policy and Research, Domestic and International Business Administration, US Department of Commerce, April 1975
- (134) dto. a.a.O.(133), S. US-8
- (135) dto. a.a.O.(133), S. US-3
- (136) Kelly, R.  
Misisco, H. a.a.O.(133), S. US-6
- (137) Kuhlmann, K.R. a.a.O.(132), S. US-2
- (138) Kelly, R.  
Misisco, H. a.a.O.(133), S. US-4
- (139) dto. a.a.O.(133), S. US-5
- (140) dto. a.a.O.(133), S. JP-1
- (141) - "The Japanese Auto Industry announced today that Japan had overtaken the US as the largest producer of cars in the world." (Ankündigung zwei Tage vor dem Besuch von Präsident Carter in Tokyo) New York Times vom 7.7.1980
- (142) Kuhlmann, K.R. a.a.O.(132), S. JP-1
- (143) Kelly, R.  
Misisco, H. a.a.O.(133), S. JP-5
- (144) Kuhlmann, K.R. a.a.O.(132), S. JP-3
- (145) - The Ford Case Against Japan (Collection of graphic material and commentary being distributed by the Ford Motor Company, intended to advance the company's case for protection against the automobile imports from Japan). New York Times vom 7.7.1980
- (146) Keldermann, J. Resolution von 69 Senatoren an Präsident Carter zur Warnung an die japanischen Automobilhersteller, daß weitere Anstrengungen zur Erhöhung des japanischen Marktanteils in den USA nicht hingenommen würden ("The survival of the domestic auto industry is really at stake"), Automotive News vom 16.6.1980
- (147) - "Datsun Official sees import cutback." (Aussage von Y. Suzuki, Vice President External Relations for Nissan, USA), Automotive News vom 9.6.1980
- (148) Keldermann, J. "Quotas on Japanese Cars Rejected! (Aussage von R. Askew, US Trade Representative), Automotive News vom 16.6.1980
- (149) Keldermann, J. "Congress told import quotas would hurt more than help." Automotive News vom 1.9.1980
- (150) Kahn, H. "GM White Paper proposes easier auto regulation." Automotive News vom 23.6.1980
- (151) Lapham, E. "Reagan promises regulatory relief." Automotive News vom 8.9.1980
- (152) Robinson, M.A. "GM's chief says Government, industry ready to cooperate." Aussagen von Thomas A. Murphy (GM) bezüglich verbesserter Zusammenarbeit von Autoindustrie und Regierung mit dem Ziel, die Automobilhersteller zu entlasten ("Federal Regulations have weakened the domestic automaker's ability to compete with foreign car companies." "The rules have risen the cost of doing business for domestic auto firms, opening the door for the wave of foreign competition that has shut-down American factories and left workers without jobs. In addition, federal controls on gasoline led to artificially low prices and lack of emphasis on fuel economy." Detroit News vom 8.7.1980.

- (153) Kahn, H. "Senate Hearings point to smoother auto road" (Aussage von D.Coles, University of Michigan) ("This might be an opportune time to make a complete review of auto regulations, perhaps setting up an independent group to focus on the conflict between emission control and fuel economy.") Automotive News vom 23.6.1980.
- (154) Keldermann, J. "House ok's resolution for action on imports." (Einstimmig verabschiedete Resolution des "House" to regain world technological superiority and leadership in the production of cars and trucks". Automotive News vom 30.6.1980.
- (155) Lapham, E.  
Kahn, H.  
Keldermann, J. "Carter offers his plan to rescue Detroit." Automotive News vom 30.6.1980
- (156) Kahn, H. "UAW suit against imports protested " Automotive News vom 14.7.1980.
- (157) Kahn, H. "Import fight moves to center stage. ITC case on restrictions ready to begin." Automotive News vom 29.9.1980.
- (158) Kahn, H.  
Keldermann, J. "High Noon at the ITC." Automotive News vom 14.10.1980
- (159) - "ITC decision slashes chances of curbs on imports this year." Automotive News vom 17.11.1980
- (160) - Trade Act of 1974. P.L. 93-618 vom 3.1.1975. Title II - Relief from Injury Caused by Import Competition, Chapter I - Import Relief. Sec. 201: Investigation by International Trade Commission.
- (161) - Wiedergabe einer Tokyoer Verlautbarung vom 7.7.1980, die der "Minister of International Trade", Yoshitake Sasaki, auf eine entsprechende Frage Präsident Carters anlässlich des Welt-Wirtschaftsgipfel-Treffens in Venedig am 22.6.80 gestellt hatte. Journal of Commerce Staff vom 11.7.1980.
- (162) - a.a.O.(141)
- (163) Kahn, H. "Can US help industry? Quick fix seems unlikely." Automotive News vom 7.7.1980
- (164) Kohlman, K.R. a.a.O.(132), S. SW-2
- (165) Kelly, R.  
Misisco, H. a.a.O.(133), S. SW-2
- (166) dto. a.a.O.(133), S. SW-3
- (167) Kohlman, K.R. a.a.O.(132), S. SW-1
- (168) Kelly, R.  
Misisco, H. a.a.O.(133), S. SW-1
- (169) Stork, E.O. Issues related to control of exhaust emissions from automobiles in Sweden Report to National Swedish Environment Protection Board. Institute for Interdisciplinary Engineering Studies, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 47907, USA, Dezember 1979, S. 10
- (170) - Arbeits-Unterlagen der Abteilung VPK/P, Daimler-Benz AG, Stuttgart, 1980
- (171) - Statistical Abstract of the United States - 1977; US Department of Commerce, Bureau of the Census, 98th edition, S. 5
- (172) - a.a.O.(171), S. 15
- (173) - a.a.O.(171), S. 637
- (174) - a.a.O.(171), S. 638
- (175) - a.a.O.(171), S. 12
- (176) - Technical Report of California Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust - 1960. State of California, Department of Public Health. Section III: The Technical Bases for Motor Vehicle Exhaust Standards. Chapter XVII, Data; S. 98, Tab. XXI
- (177) - a.a.O. (46), S.2
- (178) - The Automobile and Air Pollution, A Program for Progress, Part I, Report of the Panel on Electrically Powered Vehicles to the Commerce Technical Advisory Board. US Department of Commerce, Washington, Oct. 1967, Titelblatt.
- (179) - a.a.O.( 46 ), S. 2/3
- (180) Haagen-Smit, A.J. Chemistry and Physiologie of Los Angeles Smog, Ind.Eng.Chem.44(6), 1342(1952); (zitiert in (46), S. 2)



- (181) Haagen-Smit, A.J. The Control of Air Pollution. Sci.Am. 210 (1), 25 (1964); (zitiert in (46), S. 2)
- (182) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 13
- (183) - a.a.O.(176), S. 100, Tab. XXII
- (184) - Technical Report of California Standards for Ambient Air Quality and Motor Vehicle Exhaust, Supplement No. 1: Crankcase Emission Standard. State of California, Department of Public Health, S. 1961. S. 6, Tab. IV
- (185) a.a.O.(176), S. 103, Tab. XXIV
- (186) - Motor Vehicles, Air Pollution and Health. A Report of the Surgeon General to the US Congress in Compliance with Public Law 86-493 ("The Schenck Act") US Department of Health, Education and Welfare. Public Health Service, Division of Air Pollution. 87th Congress, 2nd Session, House Document No. 489, US Government Printing Office, Washington 1962, S. 21
- (187) - Cumulative Regulatory Effects on the Cost of Automotive Transportation (RECAT). Final Report of the (RECAT-) Ad Hoc Committee, prepared for Office of Science and Technology, Febr. 28, 1972 Appendix I-F, S. I-F4, Tab. F2
- (188) - a.a.O.(176), Introduction, S. 7
- (189) - a.a.O.(176), Chapter 1: "Air Quality and Motor Vehicle Standards", S. 13
- (190) - a.a.O.(176), Chapter III: "Theory of Standards for Air Quality", S.25-27
- (191) - a.a.O.(176), Chapter III: "Theory of Standards for Air Quality", S. 32
- (192) - a.a.O.(176), Chapter 1: "Air Quality and Motor Vehicle Standards", S. 15 (Tab.I) und S. 16
- (193) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 13
- (194) Caplan, John, D. "Spotting the Chemical Culprits in Smog Formation", SAE Journal 73 (12), 62 (1965) (zitiert in (46), S. 20)
- (195) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 20/21
- (196) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 19
- (197) Barth, D.S. Federal Motor Vehicle Emission Goals for CO, HC and NO<sub>x</sub> Based on Desired Air Quality Levels. Journal of Air Pollution Control Association (JAPCA), Vol. 20, No. 8, August 1980, S. 519, Tab. I
- (198) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 12, Tab. 1.5
- (199) - The Impact of Auto Emission Standards. Report of the Staff of the Subcommittee on Air and Water Pollution to the Committee on Public Works, United States Senate; Serial No. 93-11. US Gov. Printing Office, Washington Oct. 1973, S. 21
- (200) - Compliance with Title II (Auto Emission Standards) of the Clean Air Act. Hearing before the Committee on Public Works, United States Senate, 93rd Congress, 1st Session. Serial No. 93-H23; US Gov. Printing Office, Washington, Nov. 5 and 6, 1973, S. 513
- (201) Grad, F.P., u.a. The Automobile and the Regulation of its Impact on the Environment; Norman, Oklahoma 1975, ISBN 0-8061-1270-0, S. 34, Tab. 2-2
- (202) Newill, V.A. Air Quality Standards (in Stern, A.C.: Air Pollution, Vol. V, Air Quality Management; New York, San Francisco, London, 1977, ISBN 0-12-666605-9, S. 462 bis 487
- (203) Grad, F.P., u.a. a.a.O.(201), S. 34/35
- (204) Beard, R.R.  
Wertheim, G.A. Behavioral Impairment Associated with Small Doses of Carbon Monoxide. Amer. J. Public Health 57: 2011-12, November 1967, zitiert in (201), S.34
- (205) Cohen, S.J.  
Deane, M.  
Goldsmith, J.R. Carbon Monoxide and Myocardial Infarction; Arch. Environ. Health 19(4) 1969, S. 510 bis 517, (zitiert in (201), S. 35)
- (206) Glenn, H.T. Glenn's Emission Control Systems; Chicago 1972, Library of Congress Catalog Number 79-186 780, Kap.I "Air Pollution", S. 2
- (207) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 13
- (208) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 15
- (209) Grad, F.P., u.a. a.a.O.(201), S. 89
- (210) Grad, F.P., u.a. a.a.O.(201), S. 154, (aus Originalquelle): (187), Appendix I-G5)

- (211) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 8, Tab. 1.3
- (212) - a.a.O.(187), S. XVII, Tab. 2
- (213) - a.a.O.(187), S. 25, Tab. I-4
- (214) Patterson, D.J. a.a.O.(46), S. 15/16
- (215) Urone, P. a.a.O.(31), S. 40, Tab. V; S. 48, Tab. X; S. 51, Tab. XII; S. 57, Tab. XIV
- (216) - 1973 National Emissions Report (National Emissions Data System - Needs - of the Aerometric and Emissions Reporting System - AEROS. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air and Waste Management, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina. EPA-450/2-76-007, May 1976
- (217) - Compilation of Air Pollutant Emission Factors (2nd edition). U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air and Water Programs, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, April 1973; EPA document AP 42
- (218) - Supplement No. 2 to EPA document AP-42 (217); U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air and Waste Management, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, September 1973
- (219) - Supplement No. 7 to EPA document AP-42 (217); U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air and Waste Management, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, Dezember 1975
- (220) - Mobile Source Emission Factors, Update No. 5, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Transportation and Land Use Policy, Washington, D.C., January 1978
- (221) - Mobile Source Emission Factors - Final Document. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air and Waste Management, Washington, D.C., March 1978 (EPA document 400/9-78-005)
- (222) - a.a.O.(216), S. 1
- (223) - a.a.O.(216), S. 2 bis 369. Daten herausgezogen aus Angaben über 247 Air Quality Control Regions (AQCR'S).
- (224) - a.a.O.(171); Angaben in Bild II.1-24, erarbeitet aus S. 17 in Verbindung mit S. 22 bis 24
- (225) - a.a.O.(171), S. 632
- (226) - Our American Government. What Is It? How Does It Function (185 Questions and Answers); US House Document No. 93-341. 93rd Congress, 2nd Session; 1974 Edition June 17, 1974. US Government Printing Office, Washington, D.C.
- (227) Hervey, J.G. Federal Textbook on Citizenship. Our Constitution and Government (Lessons on the Constitution and Government of the United States for Use on the Public Schools by Candidates on Citizenship. Edition M-8, United States Department of Justice, Immigration and Naturalization Service. US Government Printing Office, Washington, D.C., 1973
- (228) Zinn, C.J. How Our Laws Are Made. US House Document No. 93-377, 93rd Congress 2nd Session. US Government Printing Office; September 23, 1974; Washington, D.C.
- (229) - Persönliche Kommunikation mit P.M.Raher, Rechtsanwalt in der Anwalts-Firma Hogan & Hartson, Washington D.C. (USA).
- (230) - Air Pollution Control in California 1979. State of California, The Resources Agency; 1970 Annual Report - Air Resources Board. January 1971, S. 37
- (231) - State of California, Resources Agency Air Resources Board: Air Pollution Control in California. 1971 Annual Report, January 1972, S. 2
- (232) Haas, G.C. The California Motor Vehicle Emission Standards. SAE Paper No. 210 A, August 1960, in SAE "Vehicle Emissions" Part I, Progress in Technology, Vol.6, S. 39
- (233) - a.a.O.(176), Introduction, S. 7
- (234) - a.a.O.(176), S. 16/17
- (235) - a.a.O.(231), S. 9
- (236) - a.a.O.(230), S. 1

- (237) - "Pure Air Act of 1968 becomes Law." California Air Resources Board Bulletin Vol. 1, No. 9, July - August 1968. Sacramento, California.
- (238) Liptak, B.G. a.a.O.(30), S. 12
- (239) - Air Pollution Control. Hearings Before a Special Subcommittee on Air and Water Pollution of the Committee on Public Works, United States Senate, 89th Congress, 1st Session on S. 306 ("A Bill to Amend the Clean Air Act to Require Standards for Controlling the Emission of Pollutants from Gasoline Powered or Diesel Powered Vehicles, to Establish a Federal Air Pollution Control Laboratory, and for Other Purposes"). April 6, 8 and 9, 1965, Washington, D.C., April 7, 1965, Detroit, Mich. US Government Printing Office, Washington 1965, S. 39
- (240) Bonine, J.E. The Evolution of "Technology Forcing" in the Clean Air Act . In: "Environment Reporter" Monograph No. 21, The Bureau of National Affairs, Inc., Vol. 6, No. 13; July 25, 1975, S. 3
- (241) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution. First Report of the Secretary of Health, Education and Welfare to the United States Congress (pursuant to P.L. 90-148 - The Air Quality Act of 1967), June 28, 1968, US Government Printing Office, Washington 1968, S. 1
- (242) Liptak, B.G. a.a.O.(30), S. 4
- (243) - a.a.O.(186), S. 85
- (244) - a.a.O.(186), S. 36
- (245) - Public Law 86-493 (The "Schenck Act" or "The Motor Vehicle Exhaust Act") H.R. 8238; 86th Congress; June 8, 1960, Sec. 1 und 2 (zitiert in (186), S. 5)
- (246) - a.a.O.(239), S. 1
- (247) - US Department of Health, Education and Welfare; Public Health Service: The Clean Air Act, December 17, 1963 (P.L. 88-206). As Amended October 20, 1965 (P.L. 89-272); October 15, 1966 (P.L. 89-675), "Title I", Sec. 106(b)
- (248) - a.a.O.(247), Sec. 101 (a) (3)
- (249) - a.a.O.(247), Sec. 103 (a) (4)
- (250) - a.a.O.(247), Sec. 106
- (251) - a.a.O.(247), Sec. 103 (b) (7)
- (252) - a.a.O.(241), S. 2
- (253) - a.a.O.(241), Chapter II, S. 17
- (254) - a.a.O.(247), "Title II" - Control of Air Pollution from Motor Vehicles"; Fußnote: "Title II added by Sec. 101 of P.L. 89-272, 10/20/65
- (255) - a.a.O.(247), "Title I", Sec. 103 (a) (5); Fußnote: "Subsection 103 (a) amended by Sec. 103 of P.L. 89-272, 10/20/65, to add a new paragraph (5)
- (256) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 202 (Establishment of Standards).
- (257) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 202 (b) (Establishment of Standards).
- (258) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 203 (a) (1) (Prohibited Acts).
- (259) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 203 (a) (2) (Prohibited Acts).
- (260) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 203 (a) (3) (Prohibited Acts).
- (261) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 205 (Penalties)
- (262) - a.a.O.(247), "Title II", Sec. 206 (Certification)
- (263) - Clean Air Act Amendments of 1966; P.L. 89-675, Sec. 104
- (264) - Automotive Air Pollution. A Report of the Secretary of Health, Education and Welfare to the United States Congress pursuant to P.L. 88-206 (The Clean Air Act), US Government Printing Office Washington (Halbjahresberichte von 1964 bis 1967, hier z.B. Bericht vom 15.1.1965)
- (265) - Air Quality Act of 1967, P.L. 90-148, November 21, 1967, "Title I", Sec. 101 (a) (2)
- (266) - a.a.O.(265), Sec. 101 (b) (1)
- (267) - a.a.O.(265), Sec. 107 (b) (1)
- (268) - a.a.O.(265), Sec. 107 (c)

- (269) - a.a.O.(265), Sec. 107 (a) (1) und (a) (2)
- (270) - a.a.O.(241), S. 3
- (271) - a.a.O.(265), Sec. 108 (c) (1)
- (272) - a.a.O.(265), Sec. 110 (a) (1) und (b)
- (273) - a.a.O.(265), Sec. 305 (a)
- (274) - a.a.O.(265), Title II, Sec. 201
- (275) - a.a.O.(265), Sec. 208 (a) bis (c)
- (276) - a.a.O.(265), Sec. 209
- (277) - a.a.O.(265), Sec. 210
- (278) Liptak, B.G. a.a.O.(30), S. 7
- (279) - The Impact of Auto Emission Standards. Report of the Staff of the Subcommittee on Air and Water Pollution to the Committee on Public Works United States Senate; Serial No. 93-11, US Government Printing Office, Washington, Oktober
- (280) - a.a.O.(279), S. 33
- (281) - A Legislative History of the Clean Air Amendments of 1970, Prepared by the Environmental Policy Division of the Congressional Research Service of the Library of Congress for the Committee on Public Works U.S. Senate. Vol. 1, January 1974; Serial No. 93-18; S. 251
- (282) Bonine, J.E. a.a.O.(240), S. 8 bis 11
- (283) dto. a.a.O.(240), S. 12
- (284) - The Clean Air Act (as amended); Environmental Protection Agency, Washington, D.C., December 1970.
- (285) - a.a.O.(284), Title I, Sec. 103 (f) (1)
- (286) - a.a.O.(284), Sec. 104 (a) (1) (D) und (E)
- (287) - a.a.O.(284), Sec. 212
- (288) - a.a.O.(284), Sec. 109 (a) (1) (A)
- (289) - a.a.O.(284) Zusammenstellung des Bildes erarbeitet anhand des kompletten Gesetzeswerkes "Title I" (Sec. 101-118), "Title II" (Sec. 201-234) und "Title III" (Sec. 301-317)
- (290) - a.a.O.(284) Zusammenstellung des Bildes erarbeitet anhand der Angaben von Sec. 202, 203, 205 bis 209, 211 und 212 von "Title II".
- (291) van Winsen, F.  
Nordmann, K.  
McDermott, E. Aussagen für die Firma Daimler-Benz AG in den "Hearings before the Subcommittee on Air and Water Pollution of the Committee on Public Works, United States Senate (93rd Congress, 1st Service) May 14, 17, 18 und 21, 1973 on the Decision of the Administrator of the Environmental Protection Agency Regarding Suspension of the 1975 Auto Emission Standards." Serial No. 93-H 9, US Government Printing Office Washington 1973, hier S. 705 bis 825 (speziell S. 716: Sen.Muskie: "You can meet the 1975 Standards with your diesel engine?" F. van Winsen: "Yes, but test procedures are not yet finalized"); Diskussion der Diesel-Situation aus Sicht der Daimler-Benz AG (zwischen Senator Muskie und F. van Winsen, Direktor der Daimler-Benz AG, Pkw-Entwicklung, sowie K. Nordmann, Präsident der Mercedes-Benz of North America, und E.A. McDermott, Hogan & Hartson, Mercedes-Benz's Washington Counsel), in der auch erstmals von Senator Muskie die Frage nach (möglichen) Gesundheitsbeeinflussungen durch Diesellabgas gestellt wird. (S. 713)
- (292) van Winsen, F.  
Nordmann, K.  
McDermott, E. a.a.O.(291), S. 715, Diskussion eines von Dr. Uhlenhaut, Direktor der Daimler-Benz AG Pkw-Entwicklung bis 1972, in den 1973er Suspension Hearings zitierten "Ausreißer-Tests", der 0.37 g NO<sub>x</sub>/m geliefert hatte (1976er Statutory NO<sub>x</sub> Standard = 0.4 g/m).

- (293) van Winsen, F.  
Nordmann, K.  
McDermott, E.
- a.a.O.(291), S. 717 bis 719, Antwort von E. McDermott auf die Hypothese von Sen. Muskie, daß Daimler-Benz im Besitz einer Technologie (Diesel-Motor, Anm. d. Verf.) zum Erfüllen der 1975er HC- und CO-Standards sei, und daher keinen Aufschub dieser Grenzwerte erhalten könne.  
Sen. Muskie: "One final question occurs to me. You produce 220 diesel cars (Diesel-Motor Fahrzeuge mit 2.2 l Hubraum, Anm. d. Verf.) and 220 gasoline powered cars. (Otto-Motor Fahrzeuge mit 2.2 l Hubraum, Anm. d. Verf.). If you were to apply for an extension of 1975 standards, why should that extension be granted, since the diesel cars would meet the standards and the gasoline powered cars would not?"
- Mr. McDermott: "Mr. Chairman, since that is a legal question, I would like to respond. When the suspension from the 1975 standards is granted to a company, the company is granted the suspension for the entire product line, not just for the particular model. Mercedes would not be able to produce 220's, 280's and 450 models with diesel engines by 1975 ....", und zur Marktsituation: "... a serious effort has been made (by Mercedes-Benz of North America, Anm. d. Verf.) to sell the diesel automobiles to the American consumer. But there has been a degree of consumer resistance, a strong degree."
- (294) van Winsen, F.  
Nordmann, K.  
McDermott, E.
- a.a.O.(291), S. 710 und 711. Antwort von K. Nordmann auf die Frage von Senator Muskie nach der Aufnahmefähigkeit des US-Marktes für Diesel-Pkw's:
- "... since 1958 through 1972 53 331 diesel powered Mercedes automobiles have been sold in this country (USA). It should be noted, however, that total Mercedes sales represent only 0.4 % of total car sales in the United States (40 000 of 10 million) and our diesel model is but a small fraction of that percentage (0.06 %)."
- "... consumer demand in the United States placed greater emphasis on horsepower and other performance features not associated with the diesel engine. As environmental considerations become more prominent, interests in the diesel powered automobile has shown evidence on increase, but the higher initial cost of the diesel powered vehicle has not yet been accepted by automobile buyers in the United States as offset by markedly reduced operating cost."
- (295) - Entscheidung des EPA Administrators vom 11.4.1973 über die Gewährung eines Aufschubs der 1975er HC- und CO-Statutory Standards. Federal Register Vol. 38, No.137 vom 26. April 1973, S. 10317.
- (296) - How to Bypass Emission Controls (for better mileage and performance) for General Motor Cars and light trucks 1971- 1977. Au. Tech. Inc. Connecticut, 1977, mit dem eineleitenden Hinweis: "Important. Modification or removal of emission controls by car owners, service station operators or other private individuals not representing vehicle or engine manufacturers is legal according to Federal law..."
- (297) - Emission Control Bypass Manual 1974. Ardel Corporation.
- (298) - Emission Control Bypass Manual II (Custom Tune-up Shop, Inc.) mit Hinweisen wie: "... it is imperative that the 1975 and 1976 vehicles be modified for the use of regular (i.e. "leaded", Anm. d. Verf.) gasoline before any emission control modification are undertaken", oder: "... removing both the restriction from the gas tank filler neck and the unleaded decal nearby", und: "... only General Motors utilizes a catalytic converter that can be externally eliminated without actually removing the converter shell. This is because their catalytic converter consists of a pelletized substrate ... these pellets can be drained ... by removing the 3/4 Allen plug in the bottom of the converter."
- (299) - Persönliche Kommunikation mit P.M. Raher, Rechtsanwalt in der Anwalts-Firma Hogan & Hartson, Washington D.C. (USA)
- (300) - The Clean Air Act As Amended August 1977; 95th Congress, 1st Session; Serial No. 95-11, US Government Printing Office, Washington 1977. Title "II", Sec. 203 (a) (3)
- (301) - a.a.O.(284), Zusammenstellung des Bildes erarbeitet anhand der Angaben in "Title II", Sec. 203 (a) (1) bis (a) (4)
- (302) - a.a.O.(284), "Title II", Sec. 207 (b) (2)
- (303) - Regulatory Support Document - Sec. 207 (b), NPRM. (Short Tests and the Methodologies to establish Short Test Cutpoints). Emission Control Technology Division Office of Mobile Source Air Pollution Control, US-EPA, November 30-1976, S. 9/10
- (304) - a.a.O.(284), Sec. 209 (a) (b): Nur Kalifornien erfüllte die Bedingung dieser Section - schon vor dem 30.3.1966 eigene Emissionsgrenzwerte gehabt zu haben - und konnte daher vom Verbot dieser Section eine Ausnahme ("Waiver") erhalten.
- (305) - Energy Supply and Environmental Coordination Act of 1974; Public Law 93-319, 88 St. 246 (H.R. 14368), Sec. 5 (a) bis (c).

- (306) - a.a.O.(300), Zusammenstellung des Bildes erarbeitet anhand der Neuerungen von "Title II", Sec. 202 bis 206 sowie Sec. 207 bis 215.
- (307) - a.a.O.(300), Zusammenstellung des Bildes erarbeitet anhand der Angaben von Sec. 202 (b) (5) (A) bis (C) und Sec. 202 (b) (6) (A) und (B)
- (308) - Air Pollution From Motor Vehicles. Final Report of the Swedish Ministry of Communications Group concerning Development Work in the Field of Motor Vehicle Exhaust Gases: Stencil K 1971:1, Stockholm, April 15th, 1971, S. 177.
- (309) - a.a.O.(308), S. 177 und 178
- (310) Bonine, J.E. a.a.O.(240). Kapitel 4.3 der vorliegenden Arbeit wurde auf den Seiten 95 bis 103 im wesentlichen von den Seiten 1 bis 30 aus (240) übernommen.
- (311) - a.a.O.(279), S. 6
- (312) - A Legislative History of the Clean Air Amendments of 1970, Environmental Division of the Congressional Research Service of the Library of Congress for the Committee on Public Works, US Senate, Vol. 1, January 1974, Serial No. 93-18, US Government Printing Office, 1974, S. 229: Sen. Muskie in Senate Debate on S. 4358 (A Bill to Amend the Clean Air Act) September 21, 1970.
- (313) a.a.O.(279), S. 6
- (314) a.a.O.(200), S. 2, Senator Muskie: "This Committee must determine if the available evidence indicates that the utilization of catalysts on automobiles for the 1975 model year represents an undue public risk" und Seite 3: (Senator Bellmon) "I understand that those hearings are to be directed to the specific problems of new and possibly harmful catalytic converter emissions, such as sulfuric acid and particulate sulfate."
- (315) - a.a.O.(200), S. 60 sowie S. 63 bis 119.
- (316) Uhlenhaut, R. Aussagen für die Daimler-Benz AG im Hearing vom 14.3.1972 vor dem "Panel on Environmental Science and Technology of the Subcommittee on Air and Water Pollution of the United States Committee on Public Works.
- (317) Uhlenhaut, R. Statement für die Daimler-Benz anlässlich des "EPA Suspension Hearing" vom April 1972
- (318) van Winsen, F. Statement für die Daimler-Benz AG anlässlich des "EPA Suspension Hearing" vom 20.3.1973
- (319) van Winsen, F. Statement für die Daimler-Benz AG anlässlich des "EPA Suspension Hearing" vom 20.6.1973
- (320) Hawkins, D.G. Präsentation als "Assistant Administrator der US-EPA auf dem "Automotive World Congress" Detroit, August 1978, über die Philosophie künftiger Emissionskontrollgesetzgebung.
- (321) - a.a.O.(300) "Title II", Sec. 202 (a) (4) (A)
- (322) - Advisory Circular No. 76 vom 28.6.1978, S.1, US Environmental Protection Agency, Office of Mobile Source Air Pollution Control (OMSAPC).
- (323) - a.a.O.(322), S.2.
- (324) - Anklageschrift des "US District Court, Central District of California", Civil No. 69-75-JWC vom 10.1.1969 gegen die 4 größten US-Automobilhersteller und die AMA. US Department of Justice, Antitrust Division.
- (325) - Presseveröffentlichung des US Department of Justice vom 10.1.1969 über die von diesem Department eingereichte Anti-Trust-Klage gegen die 4 größten US-Automobilhersteller.
- (326) - Stipulation for Entry of Consent Judgement (Vorschlag zur Einigung per "Consent Decree") US District Court, Central District of California, vom 11.9.1969. Civil Action No. 69-75-JWC. US Department of Justice, Antitrust Division.
- (327) - Presseveröffentlichung des US Department of Justice vom 11.9.1969 über den von diesem Department eingereichten Einigungsvorschlag zwischen der Behörde und den 4 größten US-Automobilherstellern.
- (328) - Begründung von Richter CURTIS über die Ablehnung der im Anschluß an die Veröffentlichung der "Consent Decree"-Vereinbarung (327) in einem öffentlichen Hearing (am 28.10.1969) gegen diese Vereinbarung vorgebrachten Bedenken verschiedener Gruppen/Personen. United States District Court, C.D. California, November 7, 1969; cite as 307 F. Supp. 617 (1969).

- (329) - The Justice Department and the Antismog Auto Pollution Case. Protest-Bemerkungen von Mr. Rosenthal "for the Record" über den geplanten "Consent Decree" des Justice Department mit Zitat eines internen Justice Department-Papiers, in dem das Justice Department seiner Überzeugung Ausdruck verleiht, daß die "conspiracy-Anklage" gegenüber der Automobilindustrie zu Recht bestand. Congressional Record-House, May 18, 1971, S. 44100
- (33) - Brief der AMA ("Automobile Manufacturer's Association, Inc.") vom 2.4.1970 an Mercedes-Benz of North America.
- (331) - Court Decision in re Multidistrict Vehicle Air Pollution (Entscheidung von Bundesrichter Manual L. Real). State of California, et al. v. Automobile Manufacturer's Association, Inc. et al. Civil No. 70-541-R, State of Washington, et al. von General Motors Corp., et. al. Civil No. 71-611-R; "MDL-31" vom 17.12.1973. Cited 1973-2 Trade Cases, S. 95652.
- (332) - a.a.O.(331), S. 95647 bis 95653
- (333) - Einleitende Bemerkungen der Entscheidung von Richter Real zum Thema "Multidistrict Vehicle Air Pollution" und der Verteidigung seiner Meinung, daß die klagenden Parteien versuchten "to squeeze a nuisance body into an anti-trust form, but the form has no legislative or judicial capacity to accept it", d.h. der "Sherman Act" kann nicht zur Untermauerung der Klage herangezogen werden.
- (334) - Memorandum and Order Denying Government's Motion for Extension of Expiring Provisions of Consent Decree (No. CV 69-75-JWC) von Richter Jesse W. Curtis vom 16.7.1979. United States District Court, Central District of California.
- (335) - a.a.O. (232)
- (336) - Implementation of the Clean Air Act Amendments of 1970 - Part 3 (Title II) Hearings before the Subcommittee on Air and Water Pollution of the Committee on Public Works - United States Senate - 92nd Congress, 2nd Session; US Government Printing Office Doc. Serial No. 92-H31 S. 1540 (wobei im zitierten Dokument ein Druckfehler unterlaufen ist: Die Literaturstelle spricht von 80 % CO- und 80 % HC-Reduktion, es muß jedoch heißen: 60 % CO- und 80 % HC-Reduktion, Anm. d. Verf.). Besser wird daher an dieser Stelle (176) herangezogen, das als Original-Dokument bezüglich der ersten kalifornischen Luftqualitäts- und Abgasstandards anzusehen ist und die kalifornischen Zielvorstellungen richtig wiedergibt.
- (337) - a.a.O.(176), S. 17
- (338) - a.a.O.(176), S. 15, Table I und S. 104 (Chapter XVIII: Calculation of Standards)
- (339) - a.a.O.(176), S. 104 und 105
- (340) - a.a.O.(176), S. 106
- (341) - a.a.O.(184), Preface
- (342) - California Test Procedure and Criteria For Motor Vehicle Crankcase Emission Control Section II, California Standards (a). State of California, Motor Vehicle Pollution Control Board.
- (343) - a.a.O.(336), S. 1540 (Attachment A - Background)
- (344) - a.a.O.(336), S. 1551 bis 1555
- (345) - a.a.O.(200), S. 514 bis 529
- (346) - a.a.O.(197), S. 520, Table II
- (347) Barth, D.S. a.a.O.(197), S. 522
- (348) dto. a.a.O.(197), S. 521, Table III
- (349) Huls, T.A. Evolution of Federal Light Duty Mass Emission Regulations. SAE Paper 730554, S. 3
- (350) - a.a.O.(178), S. 1 (Summary of Findings)
- (351) - a.a.O.(279), S. 5
- (352) - Draft Advisory Circular der US-EPA vom 19. September 1978, S. 1 bis 14 (Subjekt: Compliance with the Requirements of Section 202 (a) (4) and 206 (a) (3) of the Clean Air Act for 1980 and Later Model Years)
- (353) - a.a.O.(2)Part I: Test Procedure for Vehicle Exhaust Emissions
- (354) - a.a.O.(2), Part I, Section III (Sampling and Analytical System), Chapter C (Assembly), Fig. 1 (nach S. 8)

- (355) - a.a.O.(2), Part 1, Section IX (Calculations), S. 17 und 18
- (356) Kräft, D. Anmerkungen zu Prüfverfahren für Autoabgase und Erfolgsaussichten zur Reinhaltung der Luft. Sonderdruck aus DECHEMA-Monographien, Band 64/1970, S.8
- (357) - Federal Register, Vol. 33, No. 108 vom 4. Juni 1968, § 85.87, S. 8314
- (358) Kräft, D. a.a.O.(356), S. 10 und 11
- (359) Luther, H.  
Ihrig, H.  
Lies, H. Über die Analyse von Kohlenwasserstoffen in den Abgasen von Verbrennungsmotoren, Bergbauwissenschaft 10, 11/12 (1963) S. 264, (zitiert in (356), S. 5)
- (360) Papa, L.J. Gaschromatography - Measuring Exhaust Hydrocarbons Down to Parts Per Billion, SAE Paper 670494 (1967) S. 6 (Abb.1), (zitiert in (356), S. 6).
- (361) - Federal Register, Vol. 35, No. 129 vom 10. November 1970, § 85.81, S. 17297
- (362) Huls, T.A. a.a.O.(349), S. 4 und 5
- (363) - Federal Register, Vol. 37, No. 221 vom 15. November 1972, § 85.072-26, S. 24262 und 24263
- (364) - Federal Register, Vol. 36, No. 128 vom 2. Juli 1971, § 1201.81, S. 12655
- (365) - a.a.O.(349), S. 12
- (366) - Federal Register, Vol. 37, No. 221 vom 15. November 1972, § 85.075-26, S. 24275 und 24276
- (367) - Federal Register, Vol. 36, No. 128 vom 2. Juli 1971, § 120.81, S. 12661
- (368) - Federal Register, Vol 42, No. 124 vom 28. Juni 1977, § 86.109-78, S. 32955
- (369) - Federal Register, Vol 38, No. 151 vom 7. August 1973, § 85.175-18, S. 21354 bis 21357
- (370) - Federal Register, Vol 45, No. 45 vom 5. März 1980, § 86.110-82, S. 11509 bis 11513
- (371) Teague, D.M. Los Angeles Traffic Pattern Survey. SAE Paper No. 171, 1957, S.18
- (372) dto. a.a.O.(371) Table 13, S. 29
- (373) dto. a.a.O.(371) S. 19/20
- (374) dto. a.a.O.(371), Appendix A, Table A-1, S. 31
- (375) dto. a.a.O.(371), S. 20
- (376) dto. a.a.O.(371), S. 30
- (377) Hass, G.C.,  
Brubacher, M.L. A Test Procedure for Motor Vehicle Exhaust Emissions; APCA-Journal November 1962, S. 1
- (378) dto. a.a.O.(377), S. 2
- (379) dto. a.a.O.(377), S. 3, Table II
- (380) dto. a.a.O.(377), S. 3, Table III
- (381) dto. a.a.O.(349), S. 2
- (382) Haas, G.C.,  
Sweeney, M.P.  
Pattison, J. Laboratory Simulation of Driving Conditions in the Los Angeles Area. SAE Paper 660546, in SAE "Vehicle Emissions" Part III, Progress in Technology Vol. 12, S. 317.
- (383) dto. a.a.O.(382), S. 318
- (384) dto. a.a.O.(382), S. 319
- (385) dto. a.a.O.(382), S. 318, Table 3
- (386) dto. a.a.O.(382), S. 322, Text
- (387) dto. a.a.O.(387), S. 322, Table 7
- (388) Kruse, R.E.  
Huls, T.A. Development of the Federal Urban Driving Schedule. SAE Paper 730553 S.1 und 2.
- (389) dto. a.a.O.(388), S. 2
- (390) dto. a.a.O.(388), S.3
- (391) dto. a.a.O.(388), S. 4, Text



- (392) dto. a.a.O. (388), S. 4, Fig. 2
- (393) - Federal Register, Vol. 35, No. 219 vom 10. November 1970, S. 17311 und 17312
- (394) Kruse, R.E. a.a.O. (388), S. 4 und 6
- (395) - Automobile Sulfuric Acid Emission Control - The Development Status as of December 1975. A Report to the Administrator Environmental Protection Agency Office of Mobile Source Air Pollution Control, Emission Control Technology Division, December 1975, S. 2 - 1 und 22.
- (396) - a.a.O. (395), S. II-3, Figure 1
- (397) - a.a.O. (395), S. II-1
- (398) Huls, T.A. a.a.O. (349), S. 17, Fig. 12
- (399) dto. a.a.O. (349), S. 17, Table 10
- (400) dto. a.a.O. (349), S. 17, Table 9
- Die zitierten Literaturstellen wurden vom Verfasser dieser Arbeit wesentlich im Umfang erweitert. Das von Huls verwendete Schema für die HC- und CO-Standard-Entwicklung wurde zum Erstellen einer entsprechenden NO<sub>x</sub>-Standard-Entstehungsgeschichte aufgegriffen, die bisher noch nicht existierte (daher keine Literaturangabe auf Bild II.6-37).
- (401) Way, G.  
Fagley, W.S. Field Survey of Exhaust Gas Composition. SAE Paper No. 11 a, Januar 1958 in SAE Vehicle Emission Part I, PM Vol. 6, S. 102/103.
- (402) Haas, G.C. a.a.O. (232), S. 42
- (403) Way, G.  
Fagley, W.S. a.a.O. (401), S. 105, Table 2
- (404) - Los Angeles Auto Exhaust Test Station Project 1961 - 1963; A Joint Agency Report (beteiligt an diesem Project waren: Air Pollution Control Association - APCA - Los Angeles; Automobile Club of Southern California; Automobile Manufacturers' Association - AMA -; Bureau of Air Sanitation des California Department of Public Health; California Motor Vehicle Pollution Control Board - CMVPCB -; California Highway Patrol; US Public Health Service - USPHS -. Hier zitiert aus "Introduction" zu diesem Bericht (S. 3)).
- (405) - a.a.O. (404), S. 5
- (406) - a.a.O. (404), S. 4
- (407) - a.a.O. (404), S. 66 (CO<sub>2</sub>), S. 67 (CO), S. 68 (HC) und S. 69 (NO<sub>x</sub>) für Getriebevarianten sowie S. 78 (für Mittelwerte aller Fahrzeuge).
- (408) - a.a.O. (404), S. 25 und 26
- (409) - a.a.O. (404), S. 38
- (410) - a.a.O. (404), S. 19, Table VI
- (411) - a.a.O. (404), S. 39, Table XV
- (412) - a.a.O. (404), S. 85, Table XLVIII
- (413) - APRAC Status Report, April 1969, Coordinating Research Council, Inc., New York, S. 1.
- (414) - a.a.O. (413), S. 13 bis 47 (Appendix A: "Individual Projects")-
- (415) - US-Federal Register, Vol. 45, No. 101, May 22, 1980, Part 85; Motor Vehicles; "Emission Control System Performance Warranty Short Tests". Subpart W added to Part 85: "Emission Control System Performance Warranty Short Tests"; § 85.2212 (Idle Test); Final Rule, S. 34807
- (416) - a.a.O. (415), § 85.2213 (Two Speed Idle Test), S. 34807/34808
- (417) - US-Federal Register, Vol. 42, No. 101, May 25, 1977. Part 85; Motor Vehicle; "Emission Control System Performance Warranty Regulations. Short Test Establishment"; Subpart W - Section 207 (6) "Exhaust Emission Test Procedures"; § 85.2219 (Federal Three Mode Test Specifications); Proposed Rule, S. 26754/26755
- (418) - Study of Exhaust Emission from 1966 through 1976 Model Year Light Duty Vehicles in Denver, Chicago, Houston and Phoenix; US Environmental Protection Agency, Office of Air and Waste Management, Office of Mobile Source Air Pollution Control, Emission Control Technology Division; EPA document 460/3-77-005 August 1977, S. 2-50

- (419) - a.a.O. (417), § 85.2218 (Clayton Key Mode Specifications), S. 26753/26754
- (420) - a.a.O. (418), S. 2 - 49
- (421) - a.a.O. (418), S. 2 - 46
- (422) - a.a.O. (418), S. 2 - 47
- (423) - Surveillance Acceleration-Deceleration Driving Sequence, (second by second time vs. speed print out, erhalten in persönlichen Gesprächen mit Mitarbeitern der US-EPA, Ann Arbor).
- (424) - a.a.O. (417), § 85.2207 (Federal short cycle test specifications), S.26747 bis 26749
- (425) - a.a.O. (417), § 85.2209 (New Jersey/New York Composite test specifications), S.26750/26751
- (426) - Informationsschreiben der US-EPA an Automobilhersteller vom 18.10.78 mit Anlage über verschiedene Fahrzyklen im Zusammenhang mit dem am 20.09.78 auf einem "manufacturer's meeting" bei EPA in Ann Arbor verteilten "Draft Advisory Circular" sowie "supporting documents dealing with emissions of HC, CO and NO<sub>x</sub> under non-FTP conditions such as alternate temperatures and driving cycles".
- (427) - Information aus persönlichen Gesprächen mit Mr. de Filippis , Air Resources Bureau, New York City, Sept. 1978.
- (428) - a.a.O. (418), S. 1 - 1
- (429) - a.a.O. (418), S. 1 - 1 und 1 - 2
- (430) - Automobile Exhaust Emission Surveillance - Analysis of the Fiscal Year 1975 Program. US Environmental Protection Agency, Office of Air and Waste Management, Office of Mobile Source Air Pollution Control, Emission Control Technology Division. EPA document 400/3-77-022, December 1977, S. 1 bis 22.
- (431) - a.a.O. (430), S. 2
- (432) - Study of Emissions from 1966 through 1976 Model Year Light Duty Vehicles in Los Angeles, St. Louis and Washington, D.C. US-Environmental Protection Agency, Office of Air and Waste Management, Office of Mobile Source Air Pollution Control, Emission Control Technology Division. EPA document 460/3-77-004, August 1977. Bild II.8-10 angefertigt nach Angaben auf verschiedenen Seiten von (418), (430) und (432)
- (433) - a.a.O. (418), S. iii (Abstract)
- (434) - a.a.O. (430), S. 3
- (435) - a.a.O. (418), S. 2 - 1
- (436) - a.a.O. (430), S. 1 bis 164
- (437) - a.a.O. (430), S. 24
- (438) - a.a.O. (430), S. 29, Table 5
- (439) - a.a.O. (418), S. 3 - 2, Table 3
- (440) - a.a.O. (432), S. 35, Table 3
- (441) - a.a.O. (418), S. 3 - 2 und S. 3 - 3
- (442) - a.a.O. (432), S. 35 bis 37
- (443) - a.a.O. (418), S. 2 - 45 und S. 3 - 21
- (444) - a.a.O. (432), S. 53 und S. 55
- (445) - a.a.O. (430), S. 70, Table 43
- (446) - a.a.O. (418), S. 3 - 22
- (447) - a.a.O. (430), S. 112, Table 86 und S. 111, Table 85
- (448) - a.a.O. (430), S. 21
- (449) - a.a.O. (430), S. 115, Table 88
- (450) - a.a.O. (430), S. 21 und 22
- (451) Kincannon, B.F. Information Document on Automobile Emission Inspection and Maintenance Programs; United States Environmental Protection Agency; Office of Air and Waste Management; EPA document: EPA-400/2-78-001, February 1978, S. 44, 46, 49, 53, 55, 57, 60, 62, 63.  
Castaline, A.H.
- (452) - a.a.O. (451), S. 44 bis 61

- (453) Elston, J.C. New Jersey's Automobile Emission Inspection Law - First in the Nation; (for presentation at the American Society for Quality Control Conference, Washington Hilton Hotel, Washington, D.C., May 10-1972, S. 2 und 3
- (454) - Operational Procedures for Motor Vehicle Emission Reinspection; Required Vehicle Exhaust Calibration Procedure, Test Procedure and Standards, and Test Equipment; New Jersey Department of Environmental Protection, Bureau of Air Pollution Control, Mobile Source Control Section, September 1978 (Draft Copy), S. 1 und 2.
- (455) - Persönliche Gespräche des Verfassers am 18.09.1978 mit John C. Elston, Principal Environmental Engineer, Bureau of Air Pollution Control, Department of Environmental Protection, State of New Jersey in Trenton, New Jersey, Labour & Industry Building, John Fitch Plaza.
- (456) - New Jersey State Department of Environmental Protection, Air Pollution Control Code, Chapter 15: Control and Prohibition of Air Pollution from Light-Duty Gasoline Fueled Motor Vehicles. S. 2, Table I.
- (457) - a.a.O. (451), S. 62
- (458) Pattison, J.N. New Jersey's Rapid Inspection Procedures for Vehicular Emissions; SAE Paper 680111, S. 2  
Fegrans, G.  
Andreatch, A.J.  
Elston, J.C.
- (459) - a.a.O. (458), S. 5
- (460) - New Jersey Test Procedure of Exhaust Emission from Light Duty Gasoline Powered Motor Vehicles (Proposed). Dokument erhalten von J.C. Elston bei Besuch des Verfassers in Trenton, New Jersey (s. dazu auch (455)): S. 1 bis 5.
- (461) Andreatch, A.J. New Jersey REPAIR Project: Tune-up at Idle; APCA Journal, Vol. 12. No. 12, December 1971, S. 759.  
Elston, J.C.  
Laheg, R.W.
- (462) dto. a.a.O. (461), S. 759 (Fig. 1) and S. 760 (Fig. 2)
- (463) dto. a.a.O. (461), S. 760
- (464) dto. a.a.O. (461), S. 760, Table II
- (465) dto. a.a.O. (461), S. 761, Table III
- (466) dto. a.a.O. (461), S. 762
- (467) dto. a.a.O. (461), S. 761
- (468) dto. a.a.O. (461), S. 762, Table V
- (469) dto. a.a.O. (461), S. 757
- (470) dto. a.a.O. (461), S. 763
- (471) - a.a.O. (454), S. 11, Table 2
- (472) - New Jersey State Department of Environmental Protection, New Jersey Air Pollution Control Code, Chapter 14: Diesel Smoke, Control and Prohibition of Smoke from Diesel Powered Motor Vehicles.
- (473) - a.a.O. (300), Sec. 207 (b)
- (474) - a.a.O. (430), S. 21
- (475) - a.a.O. (303), S. 1 bis 127
- (476) - Environmental Protection Agency; US-Federal Register, Vol. 42, No. 101, May 25-1977, Part II; Motor Vehicles; Emission Control System Performance Warranty Regulations. Short Test Establishment; S. 26742 und 26743
- (477) - a.a.O. (476), S. 26744
- (478) - a.a.O. (476), S. 26743 und 26744
- (479) - a.a.O. (476), S. 26745
- (480) - Environmental Protection Agency; US-Federal Register, Vol. 45, No. 101, May 22-1980; Part IX; Motor Vehicles; Emission Control System Performance Warranty Short Tests und Warranty Regulations; Final Rules; S. 34802 bis 34829.
- (481) - a.a.O. (480), S. 34802
- (482) - a.a.O. (480), S. 34830
- (483) - a.a.O. (480), S. 34829 bis 34843

- (484) - a.a.O. (480), S. 34831
- (485) Payne, J.Y. Composition and Nature of Blowby and Exhaust Gases from Passenger Car Engines; Proceedings of Second National Air Pollution Symposium. Vol. 2  
Sigworth, H.W. (1952); S. 62 (zitiert in (52), S. 224)
- (486) Heinen, C.M. Bemerkungen in der "Discussion" (S. 243) von (52)
- (487) Templin, R.J. Bemerkungen in der "Discussion" (S. 249) von (52)
- (488) Templin, R.J. a.a.O. (487), S. 250
- (489) Hass, G.C. a.a.O. (61), S. 429  
Scanlin, J.R.
- (490) - Handbook for Installation and Inspection Stations; State of California, Department of California Highway Patrol; October 14-1965; S. 7 bis 13
- (491) Voelz, F.L., Survey of Nationwide Automotive Exhaust Emissions and PCV System Conditions  
u.a. - Summer 1970; SAE Paper 710834, October 1971; S. 9 und 10
- (492) Quillian, R.D.Jr.; Cleaner Crankcases with Blowby Diversion; Originally published in SAE Transactions, Vol. 73 (1965); hier aus: SAE "Vehicle Emissions", Part II, Progress in Technology, Vol. 12, S. 434 bis 450.  
Meckel, N.T.;  
Moffit, J.V.;
- (493) Mc Jones, R.W. Control of Crankcase Emissions Through the Use of Negative Crankcase Pressure; SAE Paper 660547, August 1966; in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 12, S. 467 bis 480.  
Huron, J. W.
- (494) dto. a.a.O. (493), S. 468, Fig. 1
- (495) dto. a.a.O. (493), S. 491, Fig. 3B
- (496) dto. a.a.O. (493), S. 491, Fig. 3C
- (497) dto. a.a.O. (493), S. 491, Fig. 3D
- (498) Berg, W. 10 Jahre Emissionskontrolle - Am Beispiel der Mercedes-Benz-Personenwagen für die USA, Sonderdruck aus ATZ 80 (1978) 7/8, S. 3, Bild 1
- (499) - Zertifizierungsunterlagen der Abteilung V1MA, Daimler-Benz AG, Stuttgart
- (500) - Automotive Exhaust Emissions; Crankcase Emission & Fuel Evaporation Emissions Control Service Manual; San Diego, 1969; S. 4 bis 20
- (501) - Toyota Emission Control Repair Manual - 1974 Model; Toyota Motor Sales, Co. Ltd.; 1973, S. 1 bis 2
- (502) Legatski, T.W. Fuel System of 1937 Automobiles. API Proceedings. Vol. 18, Sec. 3, 1937; (zitiert in: (503) S. 153)
- (503) Wentworth, J.T. Carburetor Evaporation Losses; SAE Paper No. 123, January 1958; in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 6, S. 146 bis 156.
- (504) Muller, H.L. Determining the Amount and Composition of Evaporation Losses from Automotive Fuel Systems. Originally published in SAE Transactions, Vol. 75 (1967),;  
Kay, R.E. (zitiert in: SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 12, S. 402)  
Wagner, T.O.
- (505) - Automobile Manufacturers Association; Fuel System Evaporation Losses. AMA Engineering Notes 616, September 1961 (zitiert in (509), S. 191)
- (506) - Coordinating Research Council, Inc.; 1965 CRC Motor Vehicle Evaporation Loss Tests, June 1966 (CRC Report No. 391; CRC Project No. CM-58-65). January 1966 (revised= February 1966 and June 1966)
- (507) - a.a.O. (506), S. 16, Chapter VIII, "Recommendations"
- (508) - Coordinating Research Council, Inc.: 1966 CRC Motor Vehicle Evaporation Loss Technique Evaluation. CRC Report No. 400, January 1967, (zitiert in (509), S. 191)
- (509) Martens, S.W. Measurement of Total Vehicle Evaporative Emissions. SAE Paper 680125 in SAE  
Thurston, K.W. "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part III, Vol. 14, S. 191.
- (510) Nelson, E.E. Hydrocarbon Control for Los Angeles by Reducing Gasoline Volatility; SAE Paper 690087; in: SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part III, Vol. 14, S. 775 bis 801 (hier. S. 785)
- (511) Wade, D.T. Bemerkungen in der "Discussion" von (510), S. 297
- (512) Clarke, P.J., An Adsorption-Regeneration Approach to the Problem of Evaporative Control;  
u.a. SAE Paper 670127; in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part III, Vol. 14; S. 756 bis 774 (hier: S. 756)
- (514) Berg W. a.a.O. (498), S. 4, Bild 4

- (515) Fricker, L. Anlagen zur Herabsetzung der Benzin-Verdunstungsemission an Personenwagen; ATZ 79 (1977), 2; S. 59 bis 63 (hier: S. 61)
- (516) - Einführungsschrift für den Kundendienst: "Modelljahr 1972, PKW-Typen USA-Ausführung" (Druckschrift-Nr.: KD 001001110 00-771 3/1,5), Daimler-Benz AG, Stuttgart, Juli 1971, S. 59 (Bild 8)
- (517) Berg, W. a.a.O. (498), S. 6, Bild 7
- (518) Fricker, L. a.a.O. (515), S. 62
- (519) Hass, G.C. a.a.O. (377), Chapter: "Critique of Test Procedure"  
Brubacher, M.L.
- (520) Nebel, G.J. Automobile Exhaust Gas Treatment - An Industry Report; SAE Paper No. 173, August 1957; in: SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part I, Vol. 6; S. 269 bis 273 sowie S. 298 (hier: S. 273 und 298)
- (521) Glenn, H.T. a.a.O. (206), S. 22
- (522) - Chilton's Motor Age Professional Emission Diagnostic and Safety Manual, Automotive Editorial Department, Chilton Book Co., Radnor, PA.-USA, 1974, S. 515
- (523) - Introduction into Service: "Model Year 1977 Passenger Cars USA Version" (Druckschrift-Nr.: KD 00113 11 31 00 -1276 7.2), Daimler-Benz AG, Stuttgart, December 1976, S. 172 (Fig. 376)
- (524) Glenn, H.T. a.a.O. (206), S. 20
- (525) - Automotive Exhaust Emission, Crankcase Emission & Fuel Evaporation Emission Control Service Manual; Glenn Mitchell Manuals, Inc. San Diego, California 1969; S. 5a-47
- (526) - Motor Vehicle Air Pollution Control: Inst. Mech. Engrs., Proceedings 1968-69, Vol. 183, Part 3E; (Symposium, London 25-26th November 1968); hier: Paper No. 28 by G.L. Lawrence, S. 29, Fig. 18.7
- (527) Bartholomew, E. Potentialities of Emission Reduction by Design of Induction Systems; SAE Paper 660109; January 1966; in: SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 12; S. 196, Fig. 3
- (528) dto. a.a.O. (527), S. 197, Fig. 4
- (529) dto. a.a.O. (527), S. 198, Fig. 7
- (530) - Zenith-Stufenvergaser Type 35/40 INAT, Deutsche Vergasergesellschaft m.b.H. & Co.KG, Neuss, Nachdruck Diederichs 1.75 3, S. 4 (Bild 4) und S. 6 (Bild 6)
- (531) - Einführungsschrift für den Kundendienst: "Modelljahr 1970, PKW-Typen USA-Ausführung" (Druckschrift-Nr. KD 00 100 1403 01-969 3,5), Daimler-Benz AG, Stuttgart, August 1969, S. 38 (Bild 77)
- (532) - a.a.O. (206), S. 38
- (533) Chandler, J.C. Paper in "Journal Air Pollution Control Association", Vol. 5 (August 1955), S. 65 (zitiert in (534), S. 255)  
Cannon, W.A.  
Nierman, J.C.  
Rudolph, A.
- (534) Dietrich, H.H. Automotive Exhaust Hydrocarbon Reduction During Deceleration by Induction System Devices. SAE Paper No. 170, August 1957, in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part I, Vol. 6, S. 255
- (535) Löhner, K. Technische Möglichkeiten zur Abgasveränderung bei Otto-Motoren. VDI-Bildungswerk (BW 1262), 1966, S. 10
- (536) Dietrich, H.H. a.a.O. (534), S. 257
- (537) dto. a.a.O. (534), S. 259
- (538) dto. a.a.O. (534), S. 261
- (539) dto. a.a.O. (534), S. 284
- (540) dto. a.a.O. (534), S. 264/365
- (541) Löhner, K. a.a.O. (535), S. 1 bis 14 (hier: S. 11, Bild 17)
- (542) - a.a.O. (526), S. 30
- (543) Sutton, D.W. Engine Tuning to Minimize Exhaust Emissions; Paper No. 8 in (526), S. 17 und 18, Fig. 8.8

- (544) - a.a.O. (522), S. 238
- (545) - a.a.O. (522), S. 237
- (546) - 1975 Car Shop Manual-Supplement, Ford Marketing Corporation, Ford Customer Service Division, Service Technical Communications Department, S. 24-10-1 (Fig. 2)
- (547) - a.a.O. (546), S. 24-25-2 (Fig. 1)
- (548) - Introduction into Service: "Model Year 1974 Passenger Cars USA Version" (Druckschrift-Nr. KD 00 113 1120 00-973/8), Daimler-Benz AG, Stuttgart, September 1973, S. 42 (Fig. 76)
- (549) - a.a.O. (523), S. 166 (Fig. 361)
- (550) - Deutsche Vergasergesellschaft m.b.H. & Co. KG., Solex-Vergaser 36-40 PDSI, Diederichs-Druck 11.67, S. 4 (Bilder 3 und 4)
- (551) - a.a.O. (531), S. 37 (Bild 75)
- (552) - Pierburg G.m.b.H. & Co. KG., 175 CDTU Gleichdruckvergaser, Reg.-Nr. 5/1 03-2.1, S. 7 (Bild 4)
- (553) - a.a.O. (530), S. 4 (Bilder 3 und 4)
- (554) - Deutsche Vergasergesellschaft m.b.H. & Co. KG, Solex-Doppel-Register-Vergaser 4A1, Diederichs-Druck S. 72, S. 3 (Bild 3)
- (555) - Introduction into Service: "Model Year 1975 Passenger Cars USA Version" (Druckschrift-Nr. KD 00 113 1122 00-1074/7.2), Daimler-Benz AG, Stuttgart, August 1974, S. 85 (Fig. 151)
- (556) - Bosch und Pierburg System o.H.G.: Technische Information "Systementwicklung (für Korrekturfunktionen) Start- und Warmlaufsteuerung; Beschleunigungsanreicherung; Leerlaufdrehzahlregelung". Druck Spreen 8, 1979
- (557) - Bosch und Pierburg System o.H.G.: Technische Information "Lambda =1-Regelung, Fallstromvergaser 34 PICT-5 mit Kraftstoffbypass". Druck Spreen 8, 1979
- (558) - Deutsche Vergaser GmbH. & Co. K.G.: Industrie-Information Nr. 3-1977 "Elektronisch beaufschlagte Vergaser für die Erfüllung zukünftiger Abgasnormen", Neuß, 20.6.1977, S. 2 und 3
- (559) - Bosch und Pierburg System o.H.G.: Technische Information "Lambda =1-Regelung, Fallstromvergaser 36-1B3 mit Luftpypass". Druck Spreen 8.1979
- (560) Grözinger, H. Die Benzineinspritzung des 230 SL-Motors von Daimler-Benz. ATZ 65 (1963) 6, S. 166 bis 169; hier: S. 167, Bild 10.
- (561) dto. a.a.O. (560), S. 166, Bild 3
- (562) dto. a.a.O. (560), S. 166
- (563) dto. a.a.O. (560), S. 167
- (564) dto. a.a.O. (560), S. 168, Bild 11
- (565) dto. Werkstatt-Handbuch PKW-Typen ab 1968, Baureihe 108, 109, 111, 113-Wartung, Einstellung und Montage, Bd. 1; Daimler-Benz AG, Stuttgart, Juli 1973, Druckschrift-Nr. KD 00 100 2108-03, S. 07-11/1 (Bild 07-11/1)
- (566) Knapp, W. Kraftstoffeinspritzung im Otto-Motor. Beitrag in: Automobiltechnisches Handbuch/Bussien. Hrsg. Gustav Goldbeck; Erg.Bd. zur 18.Aufl.-1979; ISBN 3-11-004373-4; S. 248 (sowie Manuskript für diesen Beitrag, das dem Verfasser dieser Arbeit ungekürzt zur Verfügung gestellt wurde).
- (567) - Supplement Workshop Manual (for Service Manual Passenger Cars starting 1968, Series 108-113), (Druckschrift-Nr. 00 102 2108 02), Daimler-Benz AG, Stuttgart, November 1972, S. 07-14/16 (Fig. 07-14/38)
- (568) a.a.O. (565), S. 07-14/6 (Bild 07-14/18)
- (569) Schlott Robert Bosch GmbH., Stuttgart; Arbeitsunterlagen der Abt. K5/EKA
- (570) - a.a.O. (567), S. 07-14/13 (Fig. 07-14/33)
- (571) - a.a.O. (567), S. 07-14/13 (Fig. 07-14/21)
- (572) - a.a.O. (567), S. 07-14/13 (Fig. 07-14/20)
- (573) - Abgasentgiftung, PKW Otto-Motoren (Druckschrift-Nr.: KD 00 100 1401-967 2), Daimler-Benz AG, Stuttgart, September 1967, S. 7 (Bild 6)

- (574) Berg, W. Grundsatzuntersuchungen am Mercedes-Benz 2,8l/6-Zyl. Einspritzmotor hinsichtlich emissionssenkender Maßnahmen für den Einsatz dieses Motors in Fahrzeugen des US-Modelljahres 1972 (Anhang zu Entwicklungsbericht Nr. 0199 vom 13.04.1971, S. 22 (Bild 24).
- (575) - Daimler-Benz AG., Stuttgart; Arbeitsunterlagen der Abt. ZKD-TP4
- (576) Knapp, H. a.a.O. (566), S. 252
- (577) - Einführungsschrift für den Kundendienst: "Die Typen 280 SE/9-3.5 Coupe/Cabriolet, 300 SEL/9-3.5 einschließlich USA-Ausführung" (Druckschrift-Nr.: KD 00 100 1107 00-470 3,5), Daimler-Benz AG, Stuttgart, April 1970, S.17 (Bild 17)
- (578) - a.a.O. (577), S. 21 (Bild 23)
- (579) - a.a.O. (577), S. 19 (Bild 19)
- (580) - a.a.O. (577), S. 22 (Bild 25)
- (581) - a.a.O. (577), S. 24 (Bild 32)
- (582) Glöckler, O. L-Jetronic-Elektronisches Benzineinspritzsystem mit Luftmengenmessung. Bosch  
Kraus, B. Technische Berichte, Sonderdruck aus Band 5 (1975), Heft 1, S. 7 bis 18
- (583) Glöckler, O. a.a.O. (582); S. 8, Bild 1  
Kraus, B.
- (584) Glöckler, O. a.a.O. (582); S. 8, Bild 2  
Kraus, B.
- (585) Glöckler, O. a.a.O. (582): S. 12, Bild 4  
Kraus, B.
- (586) Schwartz, R. Die K-Jetronic - Eine mechanisch arbeitende Anlage zur kontinuierlichen  
Stump, G. Benzineinspritzung. Bosch Technische Berichte, Sonderdruck aus Band 4  
Knapp, H. (1973), Heft 5, S. 200 bis 214
- (587) - Introduction into Service: "Model Year 1976 Passenger Cars USA Version"  
(Druckschrift-Nr.: KD 00 113 1125 00-1075-7.2), Daimler-Benz AG, Stuttgart,  
October 1975, S. 33(Fig. 43)
- (588) - Bosch Technische Berichte, Sonderdruck aus Band 4/1973, Heft 5, S. 200 bis  
214 (hier: S. 204, Bild 5)
- (589) - a.a.O. (588), S. 202 (Bild 2)
- (590) Sauer, R. Hot Wire Air Mass Meter-A New Air Flow Meter for Gasoline Fuel Injection  
Systems; SAE Paper 800468, S. 1
- (591) Glöckler, O. Present Status and Future Development of Gasoline Fuel Injection Systems for  
Knapp, H. Passenger Cars; SAE Paper 800467, S. 13 (Fig. 26)  
Manger, H.
- (592) Müller, H. Gemischbildung und Gemischverteilung bei Otto-Motoren mit Vergaserbetrieb.  
MTZ 28 (1967) 8, S. 313 bis 319
- (593) Mramor, F. Untersuchungen an Saugrohren. 2. Teil: Gemischbildung in Mehrzylinder-Otto-  
Motoren mit Vergaserbetrieb. Deutsche Kraftfahrtforschung, Heft 82 (1944);  
(zitiert in (592))
- (594) Dörge, E.A. Gemischverteilung an einem Vierzylinder-Vergasermotor. ATZ 59 (1957), S. 194  
bis 201; (zitiert in (592))
- (595) - Gemischverteilung an Mehrzylinder-Vergasermotoren. ATZ 61 (1959), S. 167 bis  
175; (zitiert in (592))
- (596) Müller, H. a.a.O. (592); S. 316, Bild 5 in Verbindung mit S. 317, Teil des Bildes 6
- (597) Bartsch Motorenentwicklung auf neuen Wegen. Motor-Rundschau Hefte 9 und 10 (1967),  
Frankfurt/Main, S. 6
- (598) a.a.O. (525), S. 5a - 45
- (599) Sutton, D.L. a.a.O. (543), S. 16/17
- (600) Thoms, U. Einfluß von Luftverhältnis und Zündzeitpunkt auf Energieumsetzung und Strah-  
lungsemission eines Otto-Motors; Dissertation, Technische Universität Braun-  
schweig (1980), S. 1
- (601) Klink, G. Transport und Verteilung von Kraftstoff durch die Saugleitung eines Vier-  
zylinder-Reihenmotors; Dissertation, Technische Universität Braunschweig  
(1973), S.6

- (602) Sebbaße, W. Klopfmessungen an einem Vier-Zylinder Otto-Motor bei instationärer Straßenfahrt; Dissertation, Technische Universität Braunschweig (1975), S. 1,54, 61, 66 bis 72.
- (603) Müller, H. Die Entflammungsdauer und ihre Auswirkung auf den Verlauf der Energieumsetzung beim Otto-Motor; MTZ 39 (1978), S. 333 bis 338 (hier: S. 337)
- (604) Bertling, H. Haahtela, O.
- (604) Bartholomew, E. a.a.O. (527), S. 192 bis 211
- (605) dto. a.a.O. (527), S. 202, Fig. 16
- (606) Glenn, H.T. a.a.O. (206), S. 40
- (607) - a.a.O. (525), S. 5a - 24
- (608) - a.a.O. (525), S. 5a - 22
- (609) - a.a.O. (526), S. 28, Fig. 18.5
- (610) Larborn, A.O.J. Dual Manifold as Exhaust Emission Control in Volvo Cars; SAE Paper 680108, Zackrisson, F.E.S. S.2 und 3
- (611) - PKW-Typenreihe 123, Daimler-Benz AG., Stuttgart, Druckschrift-Nr.: KD 00 100 112700-176 13,5, Januar 1976, S. 49 (Bild 108)
- (612) - Werkstatt-Handbuch PKW-Typen ab August 1959, Bd. 1; Daimler-Benz AG, Stuttgart, Druckschrift-Nr.: KD 00 100 2101, S. 00-13/5 (Bild 00-13/5)
- (613) - Ford - 1975 Car Shop Manual, Supplement. S. 29-00-1, Fig. 1
- (614) - Unterdruckgesteuerte Saugrohrbeheizung mit Abgas. Industrie-Information der Pierburg GmbH. & Co. KG. Nr. 4 (1978) vom 14.07.1978, S. 1 bis 5
- (615) - a.a.O. (614), S. 5
- (616) - a.a.O. (206), S. 65
- (617) - Unterlagen, die von der Daimler-Benz AG für den von der US-EPA angeforderten "Status Report-1974" über den hauseigenen Kenntnis- und Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Emissionskontrolle an PKW zusammengestellt und an die Behörde eingereicht werden mußten.
- (618) Berg, W. a.a.O. (498), S. 5, Bild 5
- (619) - a.a.O. (549), S. 209 (Fig. 458)
- (620) - a.a.O. (549), S. 176 (Fig. 383) kombiniert mit S. 178 (Fig. 390)
- (621) - a.a.O. (522), S. 371
- (622) - a.a.O. (522), S. 372
- (623) Glenn, H.T. a.a.O. (206), S. 13
- (624) dto. a.a.O. (206), S. 29
- (625) Bertling, H. Untersuchung der Streuung im Energieumsetzungsverlauf eines Otto-Motors. Dissertation, Technische Universität Braunschweig (1974)
- (626) Haahtela, O. Die Entflammung im Ottomotor bei verschiedenen Motorbetriebsbedingungen und Zündanlagenparametern. Dissertation, Technische Universität Braunschweig (1976)
- (627) Bertling, H. a.a.O. (625), S. 35
- (628) Cole, D.E. Mixture Motion - Its Effect on Pressure Rise in a Combustion Bomb: A New Look at Cyclic Variations; SAE Paper 680766. (zitiert in (625), S. 35)
- (629) - Batteriezündung. Bosch - Technische Unterrichtung 1. Auflage; 31. Oktober 1972, S. 11 Bild 9 und S. 12 Bild 10.
- (630) - a.a.O. (629), S. 8
- (631) - a.a.O. (629), S. 11
- (632) - a.a.O. (629), S. 11 und 12
- (633) - a.a.O. (629), S. 16
- (634) - a.a.O. (629), S. 32
- (635) - Elektronische Batteriezündsysteme. Bosch - Technische Unterrichtung. 1. Ausgabe, 30. September 1976, S. 26
- (636) - a.a.O. (635), S. 8



- (637) - a.a.O. (629), S. 32, Bild 44
- (638) - a.a.O. (629), S. 39, Bild 60
- (639) - a.a.O. (635), S. 27
- (640) - a.a.O. (635), S. 9
- (641) - a.a.O. (635), S. 27, Bild 43
- (642) - a.a.O. (635), S. 25, Bild 41
- (643) Gorille, J. Motronic - ein neues elektronisches System zur Steuerung von Ottomotoren. MTZ 41 (1980) 5, S. 203 bis 212, (hier: S. 203)
- (644) dto. a.a.O. (643), S. 210, Bild 6
- (645) - Auto-Praxis morgen. Zeitung für die Besucher der Robert Bosch GmbH auf der IAA 1979; Beitrag auf Seite 1: Motronic von Bosch geht in Serie. Ein Micro-Computer steuert Benzineinspritzung und Zündung.
- (646) Berg, W. a.a.O. (574), S. 29 (Bild 28)
- (647a) Meacham, K.G.B. Variable Cam Timing as an Emission Control Tool, SAE Paper 700673
- (647b) Schiele, C.A. Design and Development of a Variable Valve Timing (VVT) Camshaft, De Nagel, S.F. SAE Paper 740102  
Bennethum, J.E.
- (648) Wentworth, J.T. Piston and Ring Variables Affect Exhaust Hydrocarbon Emissions, SAE Paper 680109 in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part III, Vol. 14, S. 277
- (649) Berg, W. a.a.O. (574), S. 34, Bild 34 und Bild 35
- (650) Dietrich, H.H. Automotive Exhaust Hydrocarbon Reduction During Deceleration by Induction System Devices, SAE Paper No. 170, August 1957, in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part I, Vol. 6, S. 265 (Fig. 27)
- (651) Chandler, J.M. The Ford Approach to Exhaust Emission Control, SAE Paper 660163  
Struck, J.H. ("Thermactor", Anm. d. Verf.)  
Voorheis, W.J.
- (652) - American Motors Corporation "Air Guard" - Exhaust Control System. "Staff Engineering Report" des "Motor Vehicle Pollution Control Board, State of California", vom 14.07.1965
- (653) Glenn, H.T. a.a.O. (206), S. 35
- (654) dto. a.a.O. (206), S. 34
- (655) - a.a.O. (522), S. 281
- (656) - a.a.O. (522), S. 11
- (657) Berg, W. a.a.O. (498), S. 3, Bild 2
- (658) Obländer, K. Entwicklungsstand der thermischen und katalytischen Nachverbrennung bei Otto-  
Abthoff, J. Motoren; MTZ 33 (1972) 5; S. 2
- (659) Obländer, K. a.a.O. (658), S. 2 und S. 3  
Abthoff, J.
- (660) Berg, W. a.a.O. (574), Ergänzungsversuche
- (661) Chandler, J.M. Development of the Concept of Nonflame Exhaust Gas Reactors. SAE Paper No.  
Smith, A.M. 486 M, March 1962 in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part I.  
Struck, J.H. Vol. 6, S. 300/301
- (662) dto. a.a.O. (661), S. 300, Fig. 2
- (663) dto. a.a.O. (661), S. 301/302
- (664) Brownson, D.A. Factors Influencing the Effectiveness of Air Injection in Reducing Exhaust  
Stebar, R.F. Emissions. Originally published in SAE Transactions. Vol. 74 (1966). Hier:  
in SAE "Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 12, S. 103.
- (665) Chantwell, E.N. Design Factors Affecting the Performance of Exhaust Manifold Reactors.  
Pahnke, A.J. Originally published in SAE Transactions, Vol. 74 (1966). Hier: in SAE  
"Vehicle Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 12, S. 121
- (666) - a.a.O. (548), S. 71, (Fig. 118)
- (667) Obländer, K. a.a.O. (658), S. 3  
Abthoff, J.

- (668) dto. a.a.O. (658), S. 4
- (669) Schaldenbrand, H. Development and Evaluation of Automobile Exhaust Catalytic Converter  
Struck, J.H. Systems. SAE Paper No. 486 E March 1962, in: SAE "Vehicle Emissions",  
Progress in Technology, Part I, Vol. 6, S. 274 bis 298
- (670) dto. a.a.O. (669), S. 275 (Fig. 3), S. 277 (Fig. 7 und Fig. 8)
- (671) - a.a.O. (2), Part 5: "Criteria Evaluation"
- (672) Obländer, K. a.a.O. (658), S. 6  
Abthoff, J.
- (673) Schuster, H.-D. Abgasreinigung von Ottomotoren mit multifunktionalem Katalysator und Sauer-  
stoffsondenregelung. Vortrag an der Technischen Akademie Esslingen am  
27.02.1980, Bild 7 (VIN 1179, 11326)
- (674) - a.a.O. (555), S. 66 (Fig. 106)
- (675) Obländer, K. a.a.O. (658), S. 7, Bild 12  
Abthoff, J.
- (676) dto. a.a.O. (658), S. 7, Bild 11
- (677) dto. a.a.O. (658), S. 7
- (678) dto. a.a.O. (658), S. 7, Bild 13
- (679) dto. a.a.O. (658), S. 8
- (680) Obländer, K. Praktische Probleme beim Einsatz von Abgasreinigungsanlagen, insbesondere  
von Katalysatoren. Referat vor dem österreichischen Ingenieur- und Archi-  
tekten-Verein, Fachgruppe Kraftfahrzeugtechnik; Wien, 29. Februar 1976, S.8
- (681) dto. a.a.O. (680), S. 8, Bild 12
- (682) - "Robert Bosch Oxygen Sensor", Robert Bosch Corporation, Druck-Nr.501201  
500 278, USA, 1978
- (683) Schuster, H.-D. a.a.O. (673), S. 15, Bild 24
- (684) Obländer, K. a.a.O. (680), S. 3
- (685) dto. a.a.O. (680), S. 3, Bild 3
- (686) dto. a.a.O. (680), S. 4, Bild 6
- (687) dto. a.a.O. (680), S. 4
- (688) dto. a.a.O. (680), S. 4 bis 7
- (689) - Daimler-Benz AG - Chefinspektion: Information für das Inspektions-Team der  
US-EPA anlässlich ihres Besuches zur Kontrolle der Serienproduktion in Sindel-  
fingen vom 16. bis 19. Mai 1978
- (690) Kinoshian, J.R. The Diesel Vehicle and Its Role in Air Pollution. State of California, De-  
partment of Public Health, Bureau of Air Sanitation, A Report to the Cali-  
fornia Legislature, December 1962  
Maga, J.A.  
Goldsmith, J.R.
- (691) Chevalier, C.E. Hydrocarbon Content of the Blowby Gases of Severely Worn Automotive Diesel  
Engines. Report No. 15, October 1964, Contract FHS 86-64-76. The Pennsylvania  
State University Automotive Research Program, College of Engineering, De-  
partment of Mechanical Engineering. (Die sogenannte "Penn State Study",  
Anm.d.Verf.)
- (692) Hare, C.T. Characterization of Diesel Crankcase Emissions; SAE Paper 770719, September  
Baines, T.M. 1977
- (693) Kinoshian, J.R. a.a.O. (690), S. 2  
Maga, J.A.  
Goldsmith, J.R.
- (694) Berg, W. Aussagen und Unterlagen für die Daimler-Benz AG. in einem Hearing zur  
Situation des PKW-Diesel-Motors im Hinblick auf die künftige japanische NOX-  
Kontrollgesetzgebung. Tokyo, Januar 1979
- (695) Brubacher, M.L. Reduction of Diesel Smoke in California, SAE Paper 660548 in SAE: "Vehicle  
Emissions", Progress in Technology, Part II, Vol. 12, S. 362 bis 378, hier:  
S. 363.
- (696) dto. a.a.O. (695), S. 363/364
- (697) Kinoshian, J.R. a.a.O. (690), S. 89, Sec. VI: The Health Effects of Diesel Exhaust  
Maga, J.A. (December 1962!, Anm.d.Verf.)  
Goldsmith, J.R.

- (698) Berg, W. Vorschriften über den Verbrauch von Personenkraftwagen; Automobil-Revue, Separatdruck aus Nr. 15-1978 S.3
- (699) Huisingh, J.R.u.a. Application of Bioassay to the characterization of diesel particle emissions. In "Application of short-term bioassays in the fractionation and analysis of complex environmental mixtures"; EPA-600/9-78-027, 1978
- (700) van Winsen, F. Statement of Daimler-Benz AG before the Environmental Protection Agency, Washington D.C., March 1979 (An die US-EPA eingereichtes Material anlässlich eines Hearings zur Festlegung von Partikelgrenzwerten für PKW mit Diesel-Motoren ab Modelljahr 1981, Anm.d.Verf.), S. 136, Sec. 7: "Fuel Influence on Particulate Matter".
- (701) dto. a.a.O. (700), S. 140 (Exhibit 12/4)
- (702) dto. a.a.O. (700), S. 139 (Exhibit 12/3, Fig. 3a), wobei dieses Bild gegenüber (700) anhand neuerer Daten aus der Quelle: (Ella Mae Shelton, US Department of Energy, December 1980) um die Jahre 1978, 1979 und 1980 ergänzt wurde.
- (703) Millington, B.W. Diesel Exhaust - A European Viewpoint; SAE Paper 660549  
French, C.C.J. S. 87 bis 99. Hier: S. 97 ("Antismoke Additives")
- (704) dto. a.a.O. (703), S. 98 (Text und Fig. 7)
- (705) - a.a.O. (265), Sec. 210 (a): "Registration of Fuels and Fuel Additives". Dieser Abschnitt wurde durch (265) (P.L. 90-148) erstmals in den 1963 entstandenen "Clean Air Act" (P.L. 88-206) aufgenommen.
- (706) - Federal Register, Vol. 43, No. 181 vom 18.09.1978, S. 41424 bis 41429 (Ablehnung eines Ausnahmeantrags der Ethyl-Corporation dem Kraftstoff MMT zugeben zu dürfen) sowie: Federal Register, Vol. 44, No. 199 vom 12.10.1979, S. 58953 bis 58956 (Verbot von MMT und Straffestsetzung bei Verstoß). Das kalifornische ARB hat keine eigenen Vorschriften sondern schließt sich den EPA-Regelungen an (mündliche Kommunikation mit N. Kayne und J. Mc.Linden (ARB) vom 14.10.1981.
- (707) - Test Report of the Light Duty Diesel Vehicle Surveillance Progress, First Series (LDDVSP), State of California, Air Resources Board, December 15, 1980; (Tests an 50 Diesel-PKW "im Feld" der Modelljahre 1970 bis 1979), S. 1 bis 34 und Anhang A-1 bis D-7.
- (709) Ricardo, H.R. Patentschrift der Bundesrepublik Deutschland Nr. 926050 (Klasse 46 c<sup>2</sup>, Gruppe 14) vom 04.04.1955: "Zapfendüse". Anhang zu S. 1 bis 3 (Fig. 1).
- (710) van Winsen, F. Statement of Daimler-Benz AG before the Environmental Protection Agency, Washington D.C., June 1979. (Bei der US-EPA eingereichtes und diskutiertes Material anlässlich eines Hearings zum Erreichen von "waiver"-NO<sub>x</sub>-Grenzwerten für PKW mit Diesel-Motoren für die Modelljahre 1981 bis 1984, Vol.I, S. II-31 (Exhibit II-11))
- (711) Berg, W. Statement of Daimler-Benz AG before the Group for Evaluation and Study of Motor Vehicle Environmental Pollution Control Technology, Tokyo, January 1981 (Bei der japanischen EA eingereichtes und diskutiertes Material anlässlich eines Hearings zur Fortschreibung der japanischen Emissionskontrollgesetzgebung für PKW mit Diesel-Motoren, speziell: Übergang vom 6-mode Stationärtest auf den für PKW mit Otto-Motoren gültigen 10-mode Instationärtest und Festlegung entsprechender NO<sub>x</sub>-Standards), S. 20 (Fig. 2)
- (712) - a.a.O. (710), S. II-2 (Exhibit II-1)
- (713) - a.a.O. (699), S. 32 ff
- (714) - a.a.O. (711), Skizze im Hearing erläutert von D. Panten, Daimler-Benz A.G.
- (715) - Technical Paper No. 4 about After Engine Soot Reduction, Daimler-Benz AG, Stuttgart, January 1981, S. 2 (Kap. 2.1)
- (716) - a.a.O. (715), S. 2 (Kap. 2.2)
- (717) - a.a.O. (715), S. 4 (Kap. 2.3.2)
- (718) - a.a.O. (715), S. 11 (Fig. 1)
- (719) - a.a.O. (715), S. 5
- (720) - a.a.O. (715), S. 14 (Fig. 5)
- (721) - a.a.O. (715), S. 20 (Fig. 10)
- (722) - a.a.O. (715), S. 1 bis 10
- (723) - 10 Jahre Abgasreinigung USA-Fahrzeuge (Modelljahre 1968 bis 1978), Faltblatt der Daimler-Benz AG; Abteilung VIMA, (Nr. I), Dezember 1977

- (724) - Die Typen 280 SE/9 3.5 Coupe/Cabriolet, 300 SEL/9 3.5 einschließlich USA Ausführung; Einführung in den Kundendienst, Druckschrift-Nr. KD 00 100 11070-470 3.5, April 1970, S. 17 (Bild 17)
- (725) Berg, W. a.a.O. (498), S. 6 (Bild 9)
- (726) - a.a.O. (342), S. 1 (Summary)
- (727) - a.a.O. (490), S. 57
- (728) - a.a.O. (490), S. 65
- (729) - Brief der US-EPA an alle Automobilhersteller vom 18.10.1978 mit Attachment I: Notes on Certification Process Remodeling (wie auf dem EPA-Industry meeting vom 20.09.1978 erstmals verteilt)
- (730) - Application Format for Certification of Light-Duty Vehicles -1980 Model Year, Recommended Procedures, US-EPA, 1979, Chapter 1 (Introduction)
- (731) - Application Format for Certification of Light Duty Motor Vehicles -1980 Model Year, US-EPA, 1979
- (732) - Brief der US-EPA an alle Automobilhersteller vom 30. April 1980; EPA Certification Division Questionnaires
- (733) Harrington, R.E. Brief des "Director, Certification Division, Mobile Source Air Pollution Control" der US-EPA an alle Automobilhersteller vom 27.11.1978 mit dem Angebot: "An opportunity exists for both streamlining the procedure and significantly reducing the lapsed time of the certification cycle by asking manufacturers to nominate the durability fleet".
- (734) - Code of Federal Regulations (40 CFR), Protection of Environment, Parts 81 to 99, Revised as of July 1, 1980, § 86.081 - 24 (c) (1) (i), S. 368
- (735) - a.a.O. (734), § 86.081 - 24 (c) (1) (i), S. 368
- (736) - Schreiben des CARB an alle Automobilhersteller vom 25.06.1979: Optional 100.000 miles certification procedure, S.3
- (737) - a.a.O. (736), S. 4
- (738) - Arbeitsunterlagen der Abteilung V1MA der Daimler-Benz AG zur Information der In- und Auslandslabors, in denen Daimler-Benz offizielle Zertifizierungstests durchführt (Inland: Stuttgart-Untertürkheim/Brühl; Ausland: Ann Arbor (Michigan, USA), Los Angeles (Kalifornien, USA) und Denver (Colorado, USA). Die Idee der Darstellungsweise stammt von Ford (Detroit, USA).
- (739) - Zertifizierungsunterlagen verschiedener Automobilhersteller, die dem Verfasser dieser Arbeit freundlicherweise in persönlichem Schriftwechsel zur Verfügung gestellt wurden sowie Daten aus dem Archiv der US-EPA (Dayton, Ohio) die mit freundlicher Unterstützung der US-EPA beschafft wurden und eingesehen werden durften.
- (741) Code of Federal Regulations (40 CFR), Protection of the Environment, Parts 88 to 99, revised as of July 1, 1980, § 86.079-33: "Change to a vehicle or engine covered by certification, S. 341
- (742) - a.a.O. (741), section (a)
- (743) - a.a.O. (741), § 86.029 - 34: "Alternative procedure for notification of additions and changes, S. 341
- (744) - EPA Advisory Circular 2 B, March 17, 1975
- (745) - a.a.O. (741), App. IV, Durability Driving Schedules (a) for Light-Duty Vehicles and Light Duty Trucks, S. 781
- (746) - Daimler-Benz AG Part I Application to the US-EPA for Model Year 1982, Sec. 05.02.00.01, page 002 and 003, date: 12-2-80
- (747) - a.a.O. (741), S. 779
- (748) - Schreiben von Mercedes-Benz of North American Inc. an die Daimler-Benz AG, Stuttgart vom 10.04.1969 mit Bezug auf Gespräche zwischen General Motors, der Volkswagen AG und der Daimler-Benz AG und der US-EPA in der Zeit vom November 1968 bis Anfang 1969 und einen EPA-Anhörungsstermin für alle betroffenen Automobilhersteller in Sachen Freiluft-Rollenprüfstände am 07.08.1968 (damals noch DHEW, Ypsilanti, Mich.)
- (749) - Brief des DHEW (E.J. Brune, Acting Chief Certification Branch) an Mercedes-Benz of North America, Inc. vom 12.08.1969: "The provision for a periodic salt spray on your dynamometer will not be necessary so long as proper note of corrosive conditions are taken and their probable effect upon vehicle function".

- (750) - EPA Advisory Circular 35 A, April 2, 1979, S. 3/4
- (751) - a.a.O. (748), sowie persönliche Diskussionen des Verfassers dieser Arbeit in seiner Eigenschaft als Leiter der Daimler-Benz Zertifizierungsabteilung mit der US-EPA in Ann Arbor, Mich. anlässlich der Zulassungsbemühungen für die Freilufttrollenprüfstände der Daimler-Benz AG, Stuttgart im Jahre 1971
- (752) - "Dynamometer Systems by Labeco"; Informationsmaterial der "Labeco" Laboratory Equipment Corp., Mootesville, Indiana (USA), S. 3/4
- (754) Klingenberg, H. u.a. Analyse der in Europa und in den USA gesetzlich vorgeschriebenen Prüfmethoden und Meßverfahren für Automobilabgase; (Abschlußbericht zu einem vom BMI u.a. geförderten Forschungsprojektes); Volkswagen AG, Forschung und Entwicklung, Wolfsburg, Juni 1977, hier: S. 6 (Bild 5)
- (755) dto. a.a.O. (754), S. 27 (Bild 25) erweitert um einige Punkte
- (758) - a.a.O. (754), S. 27 (Bild 26)
- (759) - Outline for Emission Control Status Report (Anlage zum Brief der EPA an Mercedes-Benz of North America, Inc. vom 15.10.1976), 11 Seiten.
- (760) - Guidelines for Applications for Waiver of the 1981 NO<sub>x</sub> Emission Standard Based upon the Use of Diesel Engine Technology (unterzeichnet vom Assistant Administrator for Enforcement der US-EPA am 07.07.1978 und als Anlage zum Schreiben von Hogan Hartson, Washington D.C. an die Daimler-Benz AG, Stuttgart vom 10.10.1978).
- (761) - Federal Register, Vol. 46, No. 186 vom 25.09.1981, S.47222/47223
- (762) - Federal Register, Vol. 38, No. 37 vom 26.02.1973, S. 5183
- (763) - a.a.O. (336), S. 1615
- (764) - a.a.O. (336), S. 1616
- (765) - US-Department of Justice; Press Release, February 13, 1973, S.1
- (766) - a.a.O. (336), S. 1616/1617
- (767) - Information aus persönlichen Gesprächen des Verfassers dieser Arbeit mit der US-EPA in Ann Arbor (Michigan). Anlässlich dieser Recherchen stellte die EPA freundlicherweise auch die in Bild III. 5-37 abgebildete Original-Urkunde zur Reproduktion zur Verfügung.
- (768) Stork, E.O. Brief in seiner Eigenschaft als "Director, Mobile Source Pollution Control" an Robert Sansom, "Assistant Administrator for Air and Waste Programs" der US-EPA, 5.7 1972 sowie Brief von William D. Ruckelshaus (Administrator der US-EPA) an alle Automobilhersteller, 12.07.1972 (hier: S. 2)
- (769) - Issue Paper: "The Defeat Device Issue" (zusammenfassende Ausarbeitung zu dem Themenkomplex der erlaubten und unerlaubten Zusatzschaltelemente in Emissionskontrollsystemen); Mobile Source Pollution Control Program, Office of Air and Water Programs, US-EPA, November 30-1972, S. 1 bis 30 mit Attachment 1 und 2 (11 Seiten), hier: S. 14.
- (770) Brune, E.J. Brief in seiner Eigenschaft als "Director, Division of Certification and Surveillance, Mobile Source Pollution Control Program" der US-EPA an den "Director, MSPCP. EPA, OAP" mit dem Titel: "Characterization and Use of Emission Control Systems That Operate Only Under Specific Ambient Conditions or Vehicle Operations Modes", EPA, Ann Arbor, 07.07.1972, S.1
- (771) - "EPA orders Auto Makers to Eliminate Devices That Defeat Emission Controls", Bericht im "Environment Reporter" vom 22.12.1972 (Hrsg.: The Bureau of National Affairs, Inc., Washington, D.C.)
- (772) - Environmental News, US-EPA, Ann Arbor, December 15, 1972, S. 1 bis 2 mit 6 Seiten Anlagen (je 1 Seite pro betroffener Automobilhersteller)
- (773) Raher, P.M. Persönliche Kommunikation mit P.M. Raher, Rechtsanwalt und Mitglied der Anwaltsfirma Hogan & Hartson, Washington D.C. (USA)
- (774) - Federal Register, Vol. 42, No. 104, vom 31.05.1977, S. 27669
- (775) - Draft Advisory Circular der US-EPA vom 19.09.1978 verteilt mit EPA Schreiben an alle Automobilhersteller vom 20.09.1978, S. 6/7
- (776) - a.a.O. (775), S. 1 bis 14

- (777) - "Carbon Monoxide Hot Spot Guidelines", Vol. I: Techniques, EPA-Dokument 450/3-78-033 vom August 1978 sowie die zum gleichen Thema gehörende EPA-interne Ausarbeitung: "CO Hot Spot Preliminary Investigation" vom December 1977 (Verfasser: G.R. Service) (777a).
- (778) - EPA Advisory Circular 24-2 vom 06.12.1978, S.1 bis 4
- (779) - Federal Register, Vol. 38, No. 197, vom 12.10.1973 zunächst für Modelljahr 1976 geplant, später verschoben auf Einsatz zu Modelljahr 1977 s. dazu (781) S. 28303 bis 28305 (hier S. 28302).
- (780) - Federal Register, Vol. 38, No. 197, vom 12.10.1973, S. 28304, S. 85276 (9) (ii)
- (781) - Federal Register, Vol. 43, No. 186, vom 25.09.1978, S. 43300, Sec. 4
- (782) - Anlage zum Schreiben der US-EPA an alle Automobilhersteller vom 02.08.1978: "Background Information"; 1981-83 High Altitude Emission Standards, S. 3
- (783) - a.a.O. (300), Sec. 202 (f) (1)
- (784) - a.a.O. (300), Sec. 202 (f) (3)
- (785) - Federal Register, Vol. 43, No. 186 vom 25.09.1978, S. 43299/43300
- (786) - Federal Register, Vol. 45, No. 61 vom 27.03.1980, S. 20402 bis 20410 (hier: S. 20402/20403)
- (787) - Federal Register, Vol. 44, No. 93 vom 11.05.1979, S. 27700 bis 27702
- (788) - Federal Register, Vol. 45, No. 17 vom 24.01.1980, S. 5988 bis 6009
- (789) - Federal Register, Vol. 45, No. 197 vom 08.10.1980, S. 66984 bis 67015
- (790) - a.a.O. (789), S. 66984
- (791) - Federal Register, Vol. 44, No. 9 vom 12.01.1979, S. 2960 bis 2975
- (792) - a.a.O. (788), S. 5993
- (794) - Federal Register, Vol. 45, No. 144, vom 24.07.1980, S. 49254
- (795) - a.a.O. (788), S. 6012 bis 6017
- (796) - a.a.O. (788), S. 6013
- (797) - a.a.O. (789), S. 66957
- (798) - Federal Register, Vol. 41, No. 46, vom 08.03.1976, S. 9879
- (799) - California Exhaust Emission Standards and Test Procedures for 1980 and Subsequent Model Passenger Cars Light-Duty Trucks and Medium-Duty Vehicles. § 5 (d), (zitiert in (800))
- (800) - CARB-Manufacturer's Advisory Correspondence (MAC), No. 78-2, vom 23.02.1978, S. 1 bis 6
- (801) - CARB-Manufacturer's Advisory Correspondence (MAC), No. 78-8 vom 27.04.1978 S. 1
- (802) Hutt, P.B. (802a): "FDA Can Handle Food Safety Issues Most Effectively"; Artikel in "Legal Times of Washington" (28), 27.04.1981 sowie (802b); Kolbye, A.C.(Jr.): "A US Viewpoint: Legislative and Scientific Aspects of Cancer Prevention"; Preventive Medicine 9, 267-274 (1980), und 21USCS § 348 (c) (3) (A).
- (803) - US-Federal Food Drug and Cosmetic Act. 21 USCS § 360(b) (d) (1) (H) und 21USCS § 376 (b) (5) (B)
- (804) - a.a.O. (300), Sec. 211 (Regulation of Fuels)
- (805) - a.a.O. (300), Sec. 202 (a) (4) (A)
- (806) - a.a.O. (300), Sec. 206 (a) (A) und (B)
- (807) van Winsen, F. Statement of Daimler-Benz AG before the Environmental Protection Agency, Washington, D.C., June 1979. (Bei der US-EPA eingereichtes und diskutiertes Material anlässlich eines Hearings zum Erreichen von "Waiver"-NO<sub>x</sub>-Grenzwerten für PKWs mit Diesel-Motoren für die Modelljahre 1981 bis 1984, Vol. II, S.III-105 und III-106.

- (808) - (808a): Federal Register, Vol. 43, No. 136 vom 14.07.1978, S. 30341 bis 30347, (hier: S. 30345, Sec. 3, Absatz 3 (b) (1), (a) bis (h)); sowie (808b): Compliance with the Requirements of Sec. 202 (a) (4) and 206 (a) (3) of the Clean Air Act, EPA-Advisory Circular No. 76, vom 28.06.1978, S. 1 bis 4 (hier: S. 4)
- (809) Brettschneider, K. (809a): Nitrosamine in der atmosphärischen Fabrikluft und in der Luft am Arbeitsplatz; Arch. Geschwulstforschung 42/1, S. 36 bis 41 (1973); sowie Matz, J. (809b): Fine, D.H. et al., Formation in vivo of volatile N-Nitrosamines in man after ingestion of cooked bacon and spinach; Nature 265, S. 753 bis 755 (1977)
- (810) Blacker, S.M. Ausführungen von Mr. Blacker (US-EPA, Washington, D.C.) anlässlich eines Informationsbesuches bei der Daimler-Benz AG am 02.10.1979 zum Thema "Diesel-Abgas und Gesundheit".
- (811) van Winsen, F. a.a.O. (807), S. III-106 bis III-110
- (812) dto. a.a.O. (807), S. III-9 bis III-12
- (813) dto. a.a.O. (807), S. III-117 und S. III-108 (Table III-31)
- (814) - Luftqualitätskriterien für ausgewählte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; Umweltbundesamt Berlin, Berichte 1/79, S. 127 ff.
- (815) van Winsen, F. a.a.O. (807), S. III-222 (Tb1. III-72)
- (816) - a.a.O. (814), S. 150 ff.
- (817) van Winsen, F. a.a.O. (807), S. III-223/224
- (818) dto. a.a.O. (807), S. III-224
- (819) dto. a.a.O. (807), S. III-240 und III-242
- (820) - Statement of Daimler-Benz AG before the Environmental Protection Agency, Washington, D.C., April 1981; Statement Filed in Support of the Daimler-Benz AG Request for an NO<sub>x</sub>-Waiver (from the Statutory NO<sub>x</sub>-Standard of 1.0 g/m for Model Years 1983 and 1984), Exhibit 1, S. 10 bis 13
- (821) Haepf, H. Arbeitsunterlagen der Abteilung E6AT der Daimler-Benz AG., die zu verschiedenen Anlässen (so auch bei Hearings) öffentlich verwendet wurden.
- (822) Pelz, N. Arbeitsunterlagen der Abteilung E6L der Daimler-Benz AG., die zu verschiedenen Anlässen (so auch bei Hearings) öffentlich verwendet wurden.
- (823) Klingenberg, H. a.a.O. (754), S. 53 (Bild 46) und S. 54
- (824) dto. a.a.O. (754), S. 15
- (825) - Federal Register, Vol. 45, No. 127, vom 30.06.1980, S. 44188 bis 44199
- (826) Mitschke, M. Dynamik der Kraftfahrzeuge, Berlin 1972, S. 109
- (827) dto. a.a.O. (826), S. 117
- (828) - Federal Register, Vol. 42, No. 176, vom 12.09.1977, S. 45652/45653, § 86.129-79 (das Saugrohr-Unterdruck-Verfahren war noch enthalten in 40 CFR, Parts 81 to 99, revised as of July 1, 1980, S. 474, § 86.129-78 (b) (2) (i))
- (829) - a.a.O. (828), S. 45653/45654, § 86.129-80
- (830) - (830a): a.a.O. (828), S. 45654, § 86.129-80 (c) (3); sowie (830b): "Determination and Use of Alternative Dynamometer Power Absorption Values", EPA-Advisory Circular No. 55 B vom 06.12.1978, S. 1 bis 20 (mit 20 Seiten Attachments).
- (831) Leiferman, M.W. Performance and Cost Analysis of Chassis Dynamometers (Technical Support for Regulatory Action), EPA-Document PB-272148, February 1976, S. 3
- (832) dto. a.a.O. (831), S. 19
- (833) dto. a.a.O. (831), S. 4
- (834) Cline, E.L. Brief der "Clayton Manufacturing Company" an C.Gray Jr., Emission Control Technology Division, EPA, Ann Arbor vom 17.08.1974 mit Informationen über Clayton Fahrzeugrollenprüfstände und Erkenntnissen aus Versuchen, S. 16
- (835) Leiferman, M.W. a.a.O. (831), S. 5
- (836) Homann, R. Automatisierte Prüfeinrichtungen für Diesel-Motoren zur Qualitätssicherung bei der Fertigung. Sonderdruck aus MTZ 40 (1979) 9, S. 4 (Bild 6)

- (837) Schürmann,D.  
Johnson,L.  
Berg,W. Calibration of Chassis Dynamometers for Emission -and Fuel Economy Testing Using Wheel Torque Meters; SAE Paper 800400; S. 5
- (838) Thompson,G.D.  
Torres,N. Variations in Tire Rolling Resistance (Technical Support Report for Regulatory Action), EPA-Document PB-274 864, Ocotober 1977, S. 2
- (839) Thompson,G.D. Prediction of Dynamometer Power Absorption to Simulate Light Duty Vehicle Road Load (Technical Support Report for Regulatory Action), EPA-Document PB-272 169, April 1977, S. 3
- (840) dto. a.a.O. (839), S.4
- (841) - Application for Approval of "Torque Method" as an Alternative Principle for Power Absorption Unit Adjustment of Chassis Dynamometers and Adaption in the Japanese Exhaust Emission Control Legislation. Daimler-Benz AG, Stuttgart January 18, 1980 (Antrag der Daimler-Benz AG an die japanische Environment Agency).
- (842) - Federal Register, Vol. 41, Nr. 177, September 10, 1977, § 86.129-79, S. 38682/38684
- (843) - a.a.O. (842), S. 38683
- (844) - Comments of Daimler-Benz AG to Dynamometer Absorber Adjustment Procedure for 1979 and Later Model Years. Submission No. 1 of Daimler-Benz to the US-EPA, February 27, 1977.
- (845) - Schreiben der US-EPA an Mercedes-Benz of North America, Inc. vom 23.05.1978: "Your alternate procedure for determination of power absorption settings, based on torque measurements in the vehicle's drive wheels is approved for use in the 1979 model year". (Antragstellung seitens Daimler-Benz war erfolgt am 22.02.1978 nach längeren Vor-Diskussionen über das Daimler-Benz Verfahren seit 1977 (siehe dazu auch (841)). Der mit der "Drehmoment-Methode" von Daimler-Benz ermittelte Bremslast (= Fahrwiderstands)-Wert für das angemeldete Fahrzeugmodell wurde mit EPA Fleet Letter vom 24.02.78 (revised: 31.05.1978) anerkannt.
- (846) Thompson,G.D. a.a.O. (839), S. 9
- (847) dto. a.a.O. (839), S. 15
- (848) dto. a.a.O. (848), S. 16
- (849) dto. a.a.O. (848), S. 20
- (850) - a.a.O. (828), S. 45653, § 86.129-79 (c) (2) (iii)
- (851) - a.a.O. (830b), Attachment I, S. 7 bis 12, Sec. VI (Data Analysis)
- (852) White.R.A.  
Korst, H.H. The Determination of Vehicle Drag Contributions from Coast Down Tests; SAE Paper 720099
- (853) - a.a.O. (851), Attachment I, S. 7 (Formel 4)
- (854) Berg,W.  
Böhringer,K  
Keppler,G. Rad-Drehmoment Meßeinrichtung zur Einstellung von Fahrzeug-Rollenprüfständen für Abgas- und Kraftstoffverbrauchstests; Technisches Messen tm 46 (1979) 9, September 1979, S. 329 bis 338
- (855) dto. a.a.O. (854), S. 330 (Bild 2 und Bild 3)
- (856) dto. a.a.O. (854), S. 331 (Bild 4 und Bild 5)
- (857) dto. a.a.O. (854), S. 332 (Bild 6)
- (858) Schürmann,D.  
Johnson,L.  
Berg,W. a.a.O. (837), S. 5
- (859) Keppler,G. Arbeitsunterlagen der Abteilung EMEM(Idee und Programmierung des "Mercedes Energy Separation Program", das von Daimler-Benz in Korrelationsprogrammen auf Fahrzeug-Rollenprüfständen eingesetzt wird).
- (860) - Kostenzusammenstellung der Daimler-Benz AG für verschiedene "Status-Reports" an die US-EPA und zur Verwendung in Hearings freigegebene Arbeitsunterlagen der Daimler-Benz Abteilungen EIP und V1MA
- (861) - "Compromise on Assembly-line test?" Artikel in "Automotive News" vom 26.01.76, S.1 und Artikel auf S.2: "How assembly-line testing at 60/40 level would work". (Zitat: "Finally basic disagreement exists between auto makers and EPA on averaging. EPA contends the law requires each vehicle coming off the assembly line to meet the same emission standards applied for certification; the industry defends averaging; and this issue may ultimately have to be settled in court").



- (862) - Test Procedure for Assembly Line or Pre-Delivery Testing of Motor Vehicle Exhaust Emissions. State of California, Air Resources Board, March 19, 1969, S. 1 und 2
- (863) - California Assembly-Line Test Procedures; State of California, Air Resources Board, Adopted: September 16, 1970, Amended: February 17, 1971, S. 1 bis 4
- (864) Hass, G.C. Persönliche Kommunikation mit G.C. Hass, Chief, Division of Vehicle Emission Control, State of California, Air Resources Laboratory (Schriftwechsel vom 02.04.1980)
- (865) - California Assembly-Line Test Procedures for 1973 and Subsequent Model Light Duty Vehicles; State of California, Air Resources Board. December 15, 1971, Amended December 20, 1972, S. 1 bis 15
- (866) - California Assembly-Line Test Procedures for 1974 Model Light-Duty Gasoline Powered Vehicles; State of California, Air Resources Board; June 20. 1973; S. 1 bis 13
- (867) - California Assembly-Line Test Procedures for 1975 Model-Year Gasoline-Powered Passenger Cars and Light-Duty Trucks, State of California, Air Resources Board; February 13, 1974, Amended: August 14, 1974, S. 1 bis 14.
- (868) - California Assembly-Line Test Procedures for 1976 Model-Year Gasoline-Powered Passenger Cars and Light-Duty Trucks; State of California, Air Resources Board, December 11, 1974; Amended: December 15, 1975 and February 20, 1976
- (869) - California Assembly-Line Test Procedures for 1977 and Subsequent Model-Year Gasoline-Powered Passenger Cars and Light-Duty Trucks, State of California Air Resources Board, February 20, 1976, S. 1 bis 24
- (870) - California Assembly-Line Test Procedures for 1978 Model Year Passenger Cars, Light Duty Trucks and Medium-Duty Vehicles; State of California, Air Resources Board, January 25, 1977, S. 1 bis 27.
- (871) - California Assembly-Line Test Procedures for 1979 Model Year Passenger Cars, Light-Duty Trucks and Medium-Duty Vehicles; State of California, Air Resources Board; Adopted: December 19, 1977, Amended: September 6, 1978 and May 9, 1979, S. 1 bis 23
- (872) - California Assembly-Line Test Procedures for 1980 Model Year Passenger Cars, Light-Duty Trucks and Medium-Duty Vehicles; State of California, Air Resources Board, Adopted: November 16. 1978, Amended: January 30, 1979 and May 9, 1979, S. 1 bis 20 sowie entsprechendes Gesetz für Modelljahr 1981; Adopted: December 19, 1979; S. 1 bis 22
- (873) - California Assembly-Line Test Procedures for 1982 Model Year Passenger Cars, Light-Duty Trucks and Medium-Duty Vehicles; State of California, Air Resources Board, August 18, 1978, S. 1 bis 21
- (874) - a.a.O. (873), S. 6
- (875) Klingenberg, H.u.a. a.a.O. (754), S. 74 bis 84
- (876) dto. a.a.O. (754), S. 76 sowie: (861)
- (877) dto. a.a.O. (754), S. 81 (Bild 69)
- (878) dto. a.a.O. (754), S. 83 (Bild 73)
- (879) dto. a.a.O. (754), S. 82 (Bild 71)
- (880) - Staff Report 76-11-2 vom 24.06.1976 des State of California, Air Resources Board, S. 1 und 2
- (881) - a.a.O. (880), S. 2 und 3
- (882) - California New Vehicle Compliance Test Procedures; State of California, Air Resources Board, Adopted: June 24, 1976, S. 1 bis 3
- (883) - a.a.O. (880), S. 5
- (884) - State of California, Air Resources Board, Staff Report 76-11-2 vom 24.6.1976, S.5
- (885) - Resolution 75-13 sowie: California Health and Safety Code, Sec. 39097 (beigefügt als App. I und II zum Staff Report 75-9-3a vom 14.05.1975, State of California, Air Resources Board
- (886) - Senate Bill No. 479, approved by Governor: October 2, 1973; S. 1 bis 12 (hier speziell: S. 3, Chapter 20.4: "Mandatory Vehicle Emission Inspection and Testing Program") sowie: Assembly Bill No. 723, S. 1 bis 4 (Festlegung des Terminplanes des MVIPI)

- (887) - Federal Register, Vol. 39, No. 252, December 31, 1974 ("Control of Air Pollution from New Motor Vehicle Engines", Proposed Selective Enforcement Auditing Procedures"), S. 45360 bis 45380. Die in Bild III.6-20 gezeigte Berechnung eines fiktiven "Low Mileage Target" (LMT) basiert auf der Vorschrift in § 85.610 (c) (3) auf S. 45372 von (887).
- (888) - a.a.O. (887), S. 45363
- (889) Kahn, H. "EPA memo details agency's stand on assembly-line tests" (mit Streit über die Interpretation des "Clean Air Act" bezüglich der Frage, ob "each and every car" oder "the average of the vehicle population" die gesetzlichen Grenzwerte einhalten muß. Artikel in Automotive News vom 01.03.1976, S. 2
- (890) - Federal Register, Vol. 41, No. 146, July 28, 1976 ("Control of Air Pollution from New Motor Vehicle Engines, Proposed Selective Enforcement Auditing Procedures"), S. 31472
- (891) - Subpoena from EPA to Mercedes-Benz of North America, Inc. vom 7. Januar 1975; Subpoena-Frage Nr. 2
- (892) - a.a.O. (890), S. 31472 bis 31502
- (893) - a.a.O. (890), S. 31475, Fig. 2 sowie: a.a.O. (754), S. 38 (Bild 33)
- (894) - a.a.O. (890), S. 31476
- (895) - a.a.O. (890), S. 31483 (§ 86.601)
- (896) - a.a.O. (890), S. 31483 (§ 86.601) in Verbindung mit S. 31486 bis 31491 (§ 86.612 und § 86.613)
- (897) - US-Military Standard: "Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes" (MIL-STD-105D, April 19-1963)
- (898) - a.a.O. (890), S. 31485 (§ 86.607), S. 31486 und 31487 (§ 86.611) sowie App. VIII, S. 31491 (Table I und II) und S. 31492 (Table III)
- (899) Kuhler, M. Arbeitsunterlagen zur Herleitung der hier zitierten Wahrscheinlichkeitsformeln, die dem Verfasser dieser Arbeit freundlicherweise zum Verständnis der statistischen Grundlagen von M. Kuhler, Mitverfasser von (754), zur Verfügung gestellt wurden.
- (900) Klingenberg, H. u. a. a.a.O. (754), S. 83 (Text und Bild 73)
- (901) Grant, E. P. Do Exhaust Controls Really Work? SAE Paper 660545 sowie Nachfolge-Paper von Brubacher M. L. und Grant E. P.: Do Exhaust Controls Really Work? - Second Report. SAE Paper 670689
- (902) Pattison, J. N. u. a. New Jersey's Rapid Inspection Procedures for Vehicular Emissions, SAE Paper 680111
- (903) Chew, M. F. Auto Smog Inspection at Idle Only; SAE Paper 690505
- (904) - a.a.O. (282), Sec. 207 ("Compliance by Vehicles and Engines in Actual Use")
- (905) - Federal Register, Vol. 42, No. 106, June 2, 1977, S. 28124 bis 28130
- (906) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1973, Report to Congress, US-EPA, Washington D.C.
- (907) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1974, Report to Congress, US-EPA, Washington D.C.
- (908) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1975, Annual Report of the Administrator of the Environmental Protection Agency to the Congress of the United States in Compliance with the Clean Air Act as Amended
- (909) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1976, Annual Report of the Administrator of the Environmental Protection Agency to the Congress of the United States in Compliance with Sections 313, 202 and 306 (e) of Public Law 91-604, The Clean Air Act as Amended.
- (910) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1977, Report of the Administrator ... (wie (909)).
- (911) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1978. Annual Report of the Administrator of the Environmental Protection Agency to the Congress of the United States in Compliance with Sections 313, 202, 306 (e) and 127 (d) of Public Law 91-604, The Clean Air Act as Amended.
- (912) - Progress in the Prevention and Control of Air Pollution in 1979. Annual Report of the Administrator of the Environmental Protection Agency to the Congress of the United States in Compliance with Sections 313, 202, 306 (e) and 127 (b) of Public Law 91-604, The Clean Air Act as Amended

- (913) Jackson, B.R. "Summary of EPA ordered recall actions to date". Material über Recall-Aktionen der EPA für den Verfasser dieser Arbeit von B.R. Jackson mit Brief vom April 1977 zur Verfügung gestellt.
- (914) Freed, C.N. Emission Recall Report; US-EPA, Washington D.C. June 1980 S. 1 bis 4 und 7 Seiten Anhang mit Auflistung von Recall-Aktionen verschiedener Automobilhersteller
- (915) - Foreign Automobiles in Japan - Regulations and Approval Systems; Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. (JAMA)-1977; S. 8 (Hinweis: Die in (915) genannte Bevölkerungszahl von 110 Millionen wurde der neueren Angabe in (916) angepaßt, die 114.275.833 Einwohner ausweist).
- (916) - Government Statistics; Tokyo, 31.03.1978
- (917) - Quality of the Environment in Japan; Environment Agency, Japan-1975; S. 15
- (918) - Quality of the Environment in Japan; Environment Agency, Japan-1976, S. 11
- (919) Noma, K. The Control of Motor Vehicle Emissions in Japan; Automotive Pollution Control Division, Air Quality Bureau, Environment Agency, Tokyo; veröffentlicht in: Proceedings of The Fourth International Clean Air Congress, Tokyo 1977 (organized by The Japanese Union of Air Pollution Prevention Associations, JUAPPA) S. 993.
- (920) - a.a.O. (917), S. 2
- (921) - Environmental Pollution and Japanese Industry (Revised Edition). Keidandren Papers No. 5, 1975, S. 1 (Keidandren = Japan Federation of Economic Organizations).
- (922) - a.a.O. (918), S. 138 sowie S. 139, Table 29A (CO) und 29B (NO<sub>x</sub>) sowie S. 140, Table C (HC).
- (923) - a.a.O. (917), S. 33
- (924) - a.a.O. (918), S. 125
- (925) - a.a.O. (917), S. 79
- (926) - a.a.O. (918), S. 130
- (927) - Air Pollution and Motor Vehicle Emission Control in Japan; Automotive Pollution Control Division, Air Quality Bureau; Environment Agency, Japan, March 1977; S. 5
- (928) - a.a.O. (927), S. 7, Tabelle 2
- (929) - a.a.O. (927), S. 5, Tabelle 3
- (930) - a.a.O. (927), S. 6
- (931) - a.a.O. (921), S. 23, Appendix I
- (932) - a.a.O. (917), S. 170 bis 172
- (933) - a.a.O. (927), S. 40 bis 42
- (934) - Information aus Gesprächen des Verfassers dieser Arbeit mit der "Japanese Environment Agency" (JEA), Tokyo, Januar 1980.
- (935) - a.a.O. (927), S. 40, Attached Table No. 5
- (936) - a.a.O. (927), S. 6, Tabelle 4
- (937) - a.a.O. (927), S. 6 und S. 8
- (938) - a.a.O. (927), S. 9 und S. 10 (Fig. 2)
- (939) - a.a.O. (918), S. 141
- (940) - Automotive Type Approval System in Japan; Motor Vehicles Department, Ministry of Transport (MOT), Japan, September 1977.
- (941) - Persönliche Gespräche/Interviews mit Western Automobile Co., Ltd., Shibaura Itchome, Tokyo, insbesondere Mr. Shigeru Tsuda, General Manager Service Dept.
- (942) - Persönliche Gespräche/Interviews mit Mr. Takayama, Director Environmental Pollution Control Division, Motor Vehicles Dept. Road Transport Bureau, Ministry of Transport, Tokyo, Januar 1980
- (943) - Persönliche Gespräche/Interviews mit Mr. H. Kageyama, President Japanese Society of Automotive Engineers, Tokyo, Januar 1980
- (944) - Persönliche Gespräche mit Mr. K. Yoshihara, Director Traffic Safety and Nuisance Research Institute, MOT, Tokyo, Januar 1980

- (945) - Persönliche Gespräche mit Abteilungen der Japanese EA, Januar/Februar 1980
- (946) - a.a.O. (940), S. 2
- (947) - a.a.O. (917), S. 9
- (948) - a.a.O. (927), S. 61
- (949) - a.a.O. (940), S. 3, 19 bis 39, 40, 55, 162, 187
- (950) - a.a.O. (940), S. 4 bis 11
- (951) - a.a.O. (940), S. 55, 62, 91 bis 103
- (952) - a.a.O. (917), S. 2 bis 14
- (953) - a.a.O. (917), S. 3
- (954) - a.a.O. (917), S. 4
- (955) - a.a.O. (917), S. 5
- (956) - a.a.O. (917), S. 6
- (957) - a.a.O. (917), S. 7
- (958) - a.a.O. (917), S. 8
- (959) - a.a.O. (917), S. 85
- (960) - a.a.O. (927), S. 25
- (961) - a.a.O. (927), S. 53
- (962) - a.a.O. (917), S. 80
- (963) - a.a.O. (917), S. 81
- (964) - a.a.O. (927), S. 27
- (965) - a.a.O. (918), S. 134
- (966) - a.a.O. (917), S. 21 bis S. 85
- (967) - a.a.O. (927), S. 29
- (968) Yoshida, K.;  
u.a. About some Surveys on Exhaust Gas under Cycle Driving; 1971-No. 1, MOT Traffic Safety and Public Nuisance Research Institute Symposium (Summarized Texts of Reports) 1971.11; MOT-TRIAS; S. 70
- (969) Yoshizumi, K.;  
u.a. Analysis of Traffic Flow in Urban Area; Tokyo 1976, veröffentlicht in: Proceedings of The Fourth ... (a.a.O. (919)), S. 555
- (970) dto. a.a.O. (969), S. 558
- (971) - Interview mit Mr. Yoshizumi, K., Autor von (969), Tokyo, Januar 1980
- (972) - a.a.O. (969), S. 557
- (973) - a.a.O. (969), S. 556
- (974) - Schriftwechsel/Interviews mit Mr. Yoshizumi, Autor von (970).
- (975) - a.a.O. (940), S. 12 und 13
- (976) - a.a.O. (940), S. 14
- (977) - a.a.O. (940), S. 15
- (978) - a.a.O. (940), S. 346 bis 348 (Circular Notice 2-5-A-1 vom 24.12.1969)
- (980) - Automotive Type Approval Handbook for Japanese Certification, Japan Automobile Importers Association and Ministry of Transport, Tokyo, March 1981, ISBN 4-931 137-01-6, MOT-Interpretation zu Punkt 4, S. 13
- (981) - Information aus Zertifizierungsverhandlungen mit dem japanischen MOT und Western Automobile Co. Ltd. Tokyo 1979/1980
- (982) - Information aus Zertifizierungsverhandlungen mit dem japanischen MOT 1979 (über das Akzeptieren des US-Dauerlaufs eines Herstellers durch das MOT gibt es keine offiziellen schriftlichen Ausführungsbestimmungen. Das Verfahren beruht auf einer MOT-internen Vereinbarung.
- (983) - Daimler-Benz Submission to the Japanese MOT Regarding Substitution of Japanese 100 000 km Durability Run by Extrapolation from US 50 000 Miles Durability Run in Order to Eliminate Mandatory Catalyst Change. Stuttgart, December 8, 1979

- ( 984) - Information der Importeure über die von den japanischen Zulassungsbehörden eingeführten Zusatztestforderungen im Rahmen der "Abgas-Zertifikation" für Fahrzeuge mit Emissionskontrolle durch Katalysatorkonzepte. Demonstration dieser Tests sowie der Anordnung und Wirkung von Hitzeschutzblechen unter dem Fahrzeugboden. Tokyo (MOT-Labor in Mitaka), Mai 1975.
- ( 985) - a.a.O. (940), S. 693 bis 711 (TRIAS 30-1974)
- ( 986) - a.a.O. (980), S. 784 bis 800 (TRIAS 30-1979)
- ( 987) - a.a.O. (940), S. 757 (Circular Notice 2-5-c-b und TRIAS 30-1974, Chapter 2: Standards for Type Approval)
- ( 988) - a.a.O. (940), S. 759 und 760
- ( 989) - a.a.O. (980), S. 804/805
- ( 990) - a.a.O. (940), S. 650 bis 655
- ( 991) - a.a.O. (940), S. 656 bis 664
- ( 992) Berg, W. Aussagen für die Daimler-Benz AG im 1. "Diesel NO<sub>x</sub> Hearing" vor der japanischen "Environment Agency" und der "Group for the Study and Evaluation of Motor Vehicle Nitrogen Oxides Emission Control Technology", Tokyo, 25. Januar 1980
- ( 993) Berg, W. Aussagen im 2. "Diesel NO<sub>x</sub> Hearing" vor der ... (wie (992), Tokyo, 26. Januar 1981
- ( 994) - Antwort des Ministry of Foreign Affairs vom 9.12.1975 auf die EG-Verbalnote vom 24.10.1975 mit der Aussage, daß: "The Japanese Authorities are prepared to recognize EG-government authorized bodies to carry out tests required for obtaining Japanese type approval following inspections by Japanese officials of such testing facilities."
- ( 995) - Schreiben des VDA vom 9.3.1976 an die EG-Kommission in Brüssel mit dem Standpunkt der deutschen Automobilhersteller für die bevorstehenden Gespräche der EG-Kommission mit der japanischen Regierung in Tokyo, (10. bis 12.5.1976). Antwort der japanischen Regierung vom 24.5.1976, daß Japan Zulassungstests in EG-Ländern akzeptiert, und zwar entweder in regierungsseitig autorisierten Labors (z.B. beim deutschen TÜV) oder in den Labors europäischer Automobilhersteller unter Aufsicht eines japanischen Inspektors.
- ( 996) - Informationsgespräch mit K. Weber, RWTÜV in Essen
- ( 999) - a.a.O. (940), S. 787 bis 788 (Circular Notice 2-5-c-d, Procedures for Implementation of Motor Vehicle Inspection, Chapter IV, § 4-21-4 (3))
- (1000) - Circular Notice Jisha 665, Jisei 105 vom 17.6.1969 des "Director of Road Vehicle Bureau, Ministry of Transport, Attachment 2 (Englische Übersetzung von "Western Automobil Co. Ltd." - S. Tsuda)
- (1001) - Partikel werden erstmals erwähnt im Law NO. 329 "Enforcement Regulations for Air Pollution Control Law, Art. 4, vom 30.11.1968. "Other substances which will endanger human health or living Environment" werden erwähnt im "Air Pollution Control Law", Chapter 1, Art. 2 (Law NO. 97-1968)
- (1002) - a.a.O. (808a), S. 30345 und (808b), S. 4
- (1003) - Kostenzusammenstellung der Daimler-Benz AG (für verschiedene "Status Reports" an das japanische MOT und die japanische EA sowie zur Verwendung in "Hearings" freigegebene Arbeitsunterlagen der Daimler-Benz Abteilungen E 1 P und V 1 MA)
- (1004) - Schriftwechsel und Gespräche mit E. Johansson Philipsons Automobil AB, Sol-lentuna, mit dessen freundlicher Unterstützung die für diese Arbeit benötigten Informationen von den entsprechenden schwedischen Behörden beschafft werden konnten.
- (1005) Boström, C.E. Bilavgasundersökningar i svenska kommuner 1969-1975; Rapport, Naturvårds-verket, snv pm 729, Solna, maj 1977
- (1006) - a.a.O. (1005), S. 1
- (1007) - a.a.O. (1005), S. 2
- (1008) - a.a.O. (1005), S. 3, Tabelle 1
- (1009) - Air Pollution from Motor Vehicles; Final report by the Swedish Ministry of Communications Group concerning Development Work in the Field of Motor Vehicle Exhaust Gases; Stencil K 1971: 1 (in englischer Sprache, S. 67 sowie a.a.O. (1005), S. 3
- (1010) - a.a.O. (1005), S. 4
- (1011) - a.a.O. (1005), S. 21/22 (Text) mit Beilagen 2.1 till PM 729 (Tabelle)

- (1012) - a.a.O. (1005), S. 22
- (1013) - Diesel Exhaust Gases, Investigations with Proposals for Action; Ministry of Communications Guidance Group Concerning Development Work in the Field of Motor Vehicle Exhaust Gas; Stockholm 22.9.1967 (Stencil K 1967: 8).
- (1014) - a.a.O. (1013), S. 4
- (1015) - a.a.O. (1013), S. 4/5
- (1016) - a.a.O. (1013), S. 5
- (1017) - Avgaser från Bensindrivna Bilar. Utredning med förslag till åtgärder; Kommunikationsdepartementets Ledningsgrupp rörande utvecklingsarbete på bilavgasområdet; Stencil K 1968:2, S. 4/5
- (1018) - Bilavgasundersökningar i Studsvik; Projektledarens rapport, april 1970; AB Atomenergi, TPM-BIL-58, Sammanfattning und S. 3 bis 5
- (1019) - a.a.O. (1009), S. 5 bis 7
- (1020) - a.a.O. (1018), Kap. 2
- (1021) - a.a.O. (51), S.8
- (1022) - Kontroll av Kdoxidhalten i Avgaserna från äldre Bilar; PM av Kommunikationsdepartementets Ledningsgrupp ..., Stencil K 1969:8; 29.4.1969
- (1023) - Avgaskontroll av Bensindrivna Bilar av 1971 eller senare Års Modell; PM av Kommunikationsdepartementets Ledningsgrupp ..., Stencil K 1970:1, Stockholm, 15.4.1970, S. 19 bis 24
- (1024) - a.a.O. (1021), S. 4
- (1025) - a.a.O. (1021), S. 7/8
- (1026) - a.a.O. (1013), S. 45/46
- (1027) - a.a.O. (1013), S. 52
- (1028) - a.a.O. (1017), S. 79
- (1029) - a.a.O. (1017), S. 81 sowie S. 95 bis 98
- (1030) - a.a.O. (1017), S. 80/81
- (1031) - a.a.O. (1017), S. 81 (Tabelle 8.1)
- (1032) - a.a.O. (1017), S. 82/83
- (1033) - a.a.O. (1017), S. 95 (Tabelle 9.1)
- (1034) - a.a.O. (1017), S. 97 (Tabelle 9.2)
- (1036) - a.a.O. (1017), S. 85 bis 91
- (1037) - a.a.O. (1017), S. 99 (Fig. 9.2) und S. 100 (Fig. 9.3)
- (1038) - a.a.O. (1017), S. 98
- (1040) - a.a.O. (1017), S. 87
- (1042) - a.a.O. (1022), S. 2
- (1043) - a.a.O. (1022), S. 4
- (1044) - a.a.O. (1022), S. 3
- (1045) - a.a.O. (1022), S. 3 und 4
- (1046) - a.a.O. (1022), S. 8
- (1048) - a.a.O. (1022), S. 6
- (1049) - a.a.O. (1022), S. 15 bis 19
- (1050) - a.a.O. (1022), S. 18
- (1051) - a.a.O. (1022), S. 13
- (1052) - a.a.O. (1023), S. 1
- (1053) - a.a.O. (1023), S. 18
- (1054) - a.a.O. (1023), S. 18

(1055)	-	a.a.O. (1023), S. 21 und 22
(1056)	-	a.a.O. (1023), S. 18
(1057)	-	a.a.O. (1023), S. 23
(1058)	-	a.a.O. (1009), S. 179, Fig. 9.1
(1059)	-	a.a.O. (1009), S. 178
(1060)	-	a.a.O. (1009), S. 21
(1061)	-	a.a.O. (1009), S. 180 und S. 181 Fig. 9.2
(1062)	-	a.a.O. (1009), S. 182/183
(1063)	-	a.a.O. (1009), S. 184
(1064)	-	a.a.O. (1009), S. 185
(1065)	-	a.a.O. (1009), S. 187, Fig. 9.3
(1066)	-	a.a.O. (1009), S. 194, Fig. 9.4
(1067)	-	a.a.O. (1009), S. 193
(1068)	-	a.a.O. (1009), S. 188
(1069)	-	a.a.O. (1009), S. 189
(1070)	-	a.a.O. (1009), S. 190
(1071)	-	a.a.O. (1009), S. 191 bis 198
(1072)	-	a.a.O. (1009), S. 27
(1073)	-	Förslag Till Förbättrad Avgaskontroll av Bensindrivna Bilar i Sverige; Statens Naturvårdsverk, Augusti 1972, S. 3
(1074)	-	a.a.O. (1073), S. 4
(1075)	-	a.a.O. (1073), S. 14
(1077)	-	a.a.O. (1073), S. 28, Tabell 11
(1078)	-	a.a.O. (1073), S. 29, Tabell 12
(1079)	-	a.a.O. (1073), S. 29, Tabell 13
(1080)	-	a.a.O. (1073), S. 30
(1082)	-	a.a.O. (1073), S. 33
(1083)	-	a.a.O. (1073), S. 38/39, Tabell 16
(1084)	-	a.a.O. (1073), S. 35
(1085)	-	a.a.O. (1073), S. 40
(1086)	-	a.a.O. (1073), S. 42, Tabell 17
(1087)	-	a.a.O. (1073), S. 41
(1088)	-	a.a.O. (1073), S. 41, Kap. 5.4 (Funktionskontroll)
(1089)	-	a.a.O. (1073), S. 45
(1090)	-	a.a.O. (1073), S. 46
(1091)	-	a.a.O. (1073), S. 47 bis 53
(1092)	-	a.a.O. (1073), Bilaga 2, Blad 1 av 3
(1093)	-	a.a.O. (1073), Bilaga 4, Blad 2 av 3
(1094)	-	a.a.O. (1073), Bilaga 3, Blad 1
(1095)	-	a.a.O. (1073), Bilaga 3, Blad 2 av 3
(1096)	-	a.a.O. (1018), S. 4 und S. 15
(1097)	-	a.a.O. (1009), S. 13, Table 1:1
(1098)	-	a.a.O. (1009), S. 14, Table 1:2
(1099)	-	a.a.O. (1009), S. 79, Table 4:4

- (1100) - a.a.O. (1009), S. 81
- (1101) - a.a.O. (1009), S. 80, Fig. 4:18
- (1102) - a.a.O. (1009), S. 113
- (1103) - a.a.O. (1018), S. 18, Fig. 5, Orig.
- (1104) - a.a.O. (1009), S. 84
- (1105) - a.a.O. (1018), S. 15, Tabelle 1 (Übers.)
- (1106) - a.a.O. (1009), S. 116
- (1107) - a.a.O. (1009), S. 118 Text sowie S. 118 Table 6:4
- (1108) Egeäck, K.E.  
Bertilsson, T. Undersökning Av Bilar Med Avgasrenande System; Bilavgaslaboratoriet, Studsvik, 24.3.1977, TPM BIL-96 (10.3.1977), S. 1 bis 10
- (1109) dto. a.a.O. (1108), S. 2 und S. 3
- (1110) dto. a.a.O. (1108), S. 5 (Tabelle 1)
- (1111) - a.a.O. (1115), Blad 1
- (1112) - Kontroll av avgasutsläpp, Delrapport nr. 1; AB Svensk Bilprovning; Englische Übersetzung durch: "Sveriges Bilindustri - och Bilgrossistförening. AB Bilstatistik": Technical Translation No. 19/1975 (18.11.1975), S. 1 bis 34
- (1113) - Kontroll av avgasutsläpp, Delrapport nr. 2, AB Svensk Bilprovning; Englische ... : Technical Translation No. 13/1976 (16.7.1976), S. 1 bis 64
- (1114) - Kontroll av avgasutsläpp, Delrapport nr. 3, AB Svensk Bilprovning; Englische ... : Technical Translation No. 5/1977 (13.4.1977), S. 1 bis 44
- (1115) - Kontroll av avgasutsläpp, Slutrapport; Teknisk Rapport Nr. 703, 1977, AB Svensk Bilprovning, S. 1 bis 95
- (1116) - a.a.O. (1114), S. 2
- (1119) - Weak Points of Cars Periodic inspections during 1976; Separate account of the faults in passenger cars of the 1970, 1972 und 1974 models. AB Svensk Bilprovning. Druckschrift Nr. ASB 1976-12-1.500
- (1120) - "The Motor Vehicle 1980-2000; Can demands be met?" 1977er Studie der "Ingenjörsvetenskapsakademien" IVA - Meddelande No. 215, ISBN 91 7082 1534 Stockholm
- (1121) - a.a.O. (1120), S. 7
- (1122) - a.a.O. (1120), S. 8 und S. 9
- (1123) - a.a.O. (1120), S. 6
- (1124) - a.a.O. (1120), S. 17
- (1125) - a.a.O. (1120), S. 10 bis 17
- (1126) - a.a.O. (1120), S. 28 und S. 29
- (1127) - Summary of the Report SOV 1978: 17 of the "Energy Commission of Sweden". Engl. Übersetzung des "bil", S. 50 (der "Summary")
- (1128) - a.a.O. (9), S. 7 und S. 8
- (1129) - Typenbesichtigung und Registrierkontrolle von Kraftfahrzeugen in Schweden; AB Svensk Bilprovning; 24.7.1972, hier: S. 1
- (1130) - Informationsgespräch mit S. Åsander, AB Svensk Bilprovning, Stockholm; (Gespräch auf Anfrage d. Verf. an E. Johansson, Philipsons Automobil AB, Sol-lentuna durchgeführt von E. Johansson)
- (1131) - a.a.O. (1129), S. 7 und 8 sowie: a.a.O. (1130)
- (1132) - a.a.O. (1129), S. 4
- (1140) - a.a.O. (9), S. 45 (Sec. II-D-1b)
- (1141) - a.a.O. (9), S. 29 und S. 30 (Sec. II-B-3)
- (1142) - a.a.O. (9), S. 21
- (1143) - a.a.O. (9), S. 22
- (1144) - a.a.O. (9), S. 23



- (1145) - a.a.O. (9), S. 27
- (1146) - a.a.O. (9), S. 31, Sec. II-B-3b
- (1147) - a.a.O. (9), S. 33, Sec. II-B-3b
- (1148) - Persönliche Gespräche des Verfassers dieser Arbeit mit E.O. Stork über seine Ideen zur Neugestaltung der schwedischen Emissions-Kontrollgesetzgebung für PKW.
- (1149) - a.a.O. (9), S. 35, Sec. II-B-3b
- (1150) - a.a.O. (44), S. 76
- (1151) - a.a.O. (44), S. 55 bis 70
- (1152) - a.a.O. (44), S. 84
- (1153) - a.a.O. (44), S. 84 bis 88
- (1154) Marx, D.  
Knigge, R.      Ökonomische Ansätze einer Umweltschutzpolitik, in: Raumforschung und Raumordnung, 30 (1972), 4/5 S. 173
- (1155) - a.a.O. (44), S. 166
- (1156) - a.a.O. (44), S. 168
- (1157) - a.a.O. (44), S. 166 bis 249
- (1158) - a.a.O. (44), S. 169
- (1159) - a.a.O. (44), S. 172
- (1160) - a.a.O. (44), S. 188
- (1161) Wohlgemuth, R.      Überlegungen zu einer pragmatischen Gebührenstrategie im Rahmen einer umweltorientierten Energiepolitik - Umweltgebühren als Alternative zur Auflage; in: Brennstoff-Wärme-Kraft, 26(1974)12, S. 492

# ANHANG

## Abkürzungen

### Begriffserläuterungen

#### I. Abkürzungen

a. a. O.	: an anderem Ort (bereits erwähnt)
AB	: Aktiebolaget; Assembly Bill
AC	: Air Condition; Advisory Circular
ACID	: Acceleration - Cruise - Idle - Deceleration
ACR	: Abbreviated Certification Review; Assembly Concurrent Resolution
AECD	: Auxiliary Emission Control Device
AEROS	: Aerometric and Emissions Reporting System
AI	: Air Injection
AK	: Arbeitskreis
AMA	: Automobile Manufacturers Association
AMC	: American Motors Corporation
APCD	: Air Pollution Control District
API	: American Petroleum Institute
APRAC	: Air Pollution Research Advisory Committee
AQ	: Air Quality
AQL	: Acceptable Quality Level
ARB	: Air Resources Board (siehe auch CARB)
ASB	: Aktiebolaget Svensk Bilprovning
ATL	: Automotive Testing Laboratories
BAR	: Bureau of Automotive Repair
BSO	: Benzene Soluble Organics
CAN	: Canister Storage
CARB	: California Air Resources Board (siehe auch ARB)
CBPH	: California Bureau of Public Health
CCMC	: Committee of Common Market Automobile Constructors
CEC	: Coordinating European Council; CEC-Ventil: "Combination Emission Control"-Ventil
CFR	: Code of Federal Regulations
CFV	: Critical Flow Venturi
CHIP	: Central Hole In Pintle (Lochzapfen, siehe auch LZ-Düse)
CIF	: Cost-Insurance-Freight
CLA-4	: Cincinnati-Los Angeles-Straße Nr. 4
CL(D)	: Chemilumineszenz (Detektor)
CMVPCB	: California Motor Vehicle Pollution Control Board
CRC	: Coordinating Research Council
C(U)FDS	: Congested (Urban) Freeway Driving Schedule
CS	: Crankcase Storage
CVS-C	: Constant Volume Sampler - Cold Start
CVS-CH	: Constant Volume Sampler - Cold Start/Hot Start

DDS : Device Designation System  
 DEP : Department of Environmental Protection  
 DF : Deterioration Factor  
 DHEW : Department of Health, Education and Welfare  
 DK : Drosselklappe  
 DMV : Division of Motor Vehicles  
 DNA : Deoxyribonucleic Acid  
 DNS : Desoxyribonucleinsäure  
 DOT : Department of Transportation  
 DV : Durability Vehicle  
 DZ : Drosselzapfen (Düse)  
 EA : Environment Agency  
 ECE(-R15) : Economic Commission for Europe (Règlement 15)  
 ECS : Emission Control System  
 ECTD : Emission Control Technology Division  
 EEA : Energy and Environmental Analysis, Inc.  
 EFE : Early Fuel Evaporation  
 EF(G) : Engine Family (Group)  
 EFTA : European Free Trade Association  
 EG : Europäische Gemeinschaft  
 EGR : Exhaust Gas Recirculation  
 EM : Engine Modification  
 EPA : Environmental Protection Agency  
 ESECA : Energy Supply and Environmental Coordination Act  
 FAT : Forschungsvereinigung Automotiltechnik  
 FCR : Fuel Certification Review  
 FET : Federal Excise Tax  
 FID : Flame Ionisation Detector  
 FR : Federal Register  
 FT : Functional Test  
 FTP(-72,75) : Federal Test Procedure (des Modelljahres 1972 oder 1975)  
 FVV : Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen  
 FY : Fiscal Year  
 GATT : General Agreement on Tariffs and Trade  
 GM(C) : General Motors (Corporation)  
 GNP : Gross National Product  
 GRPA : Groupe de Rapporteurs sur la Pollution de l'Air; heute: GRPE: Groupe de Rapporteurs sur la Pollution de l'Air et l'Energie  
 HDC : High Speed Driving Cycle  
 HDV : Heavy Duty Vehicle  
 H(W)FET : Highway Fuel Economy Test  
 HKZ : Hochspannungskondensator-Zündung  
 HP : Hewlett Packard; Horse Power; auch hp oder Hp  
 H.R. : House of Representatives  
 I/M : Inspection and Maintenance  
 IT : Inspection Test  
 ITC : International Trade Commission  
 JAMA : Japanese Automobile Manufacturers Association  
 JAIA : Japanese Automobile Importers Association  
 JAW : Japanese Auto Workers  
 KFZ, Kfz. : Kraftfahrzeug  
 KW : Kurbelwinkel; Kohlenwasserstoffe  
 LA(-4) : Los Angeles - Straße Nr. 4)  
 LACAPCD : Los Angeles County Air Pollution Control District  
 LCR : Limited Certification Review  
 LDD : Light-Duty Diesel  
 LDV : Light-Duty Vehicle  
 LL : Leerlauf

LMT : Low Mileage Target  
 LZ : Lochzapfen (-Düse)  
 MACR : Modified Abbreviated Certification Review  
 MAK : Maximale Arbeitsplatzkonzentration  
 MAO : Manifold Air Oxidation (MAN-AIR-OX)  
 MBNA : Mercedes-Benz of North America, Inc.  
 MCCF : Methane Content Correction Factor  
 MESP : Mercedes Energy Separation Program  
 MFA : Ministry of Foreign Affairs  
 MIK : Maximale Immissions-Konzentration  
 MITI : Ministry of International Trade and Industry  
 Mj. : Modelljahr  
 MMT : Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl  
 MOT : Ministry of Transport  
 MU : Meßunsicherheit  
 MY : Model Year  
 MVIP : Motor Vehicle Inspection Program (in Kalifornien)  
 MVIS : Motor Vehicle Inspection System (in Japan)  
 MVMA : Motor Vehicle Manufacturers Association  
 MWSt : Mehrwertsteuer  
 NAAQS : National Ambient Air Quality Standard  
 NADB : National Air Data Branch  
 NAPCA : National Air Pollution Control Association  
 NAS : National Academy of Sciences  
 NBS : National Bureau of Standards  
 NDC : Normal Speed Driving Cycle  
 NDIR : Non Dispersive Infrared  
 NEDS : National Emission Data System  
 NEILS : New England Institute for Life Sciences  
 NEPA : National Environmental Policy Act  
 NFZ, Nfz. : Nutzfahrzeug  
 NPRM : Notice of Proposed Rulemaking  
 NYCC : New York City Cycle  
 OC : Oxidation Catalyst; Operation Characteristic  
 OLT : Over Land Transport  
 OMSAPC : Office of Mobile Source Air Pollution Control  
 OPEC : Organization of Petroleum Exporting Countries  
 OS : Oxygen Sensor  
 OTLUP : Office of Transportation Land Use Planning  
 PAH : Polyaromatic Hydrocarbons (siehe auch PNA)  
 PAL : Point-Area-Line  
 PAN : Peroxiacetylnitrate  
 PAU : Power Absorption Unit  
 PBO : Particle Bound Organics  
 PCV : Positive Crankcase Ventilation  
 PDP : Positive Displacement Pump  
 PHS : Public Health Service (siehe auch USPHS)  
 PINDEX : Pollution Index  
 PINTAUX : Pintle with Auxiliary Bore (-Düse)  
 PKW, Pkw : Personenkraftwagen  
 PNA : Polynuclear Aromatics (siehe auch PAH)  


---

 pphm : parts per hundred million  
 ppm : parts per million  
 PTC : Positive Temperature Control  
 QAT : Quality Audit Test  
 REPAIR : Reduction of Exhaust Pollutants through Automotive Inspection Requirements (New Jersey)  
 RFDV : Reverse Flow Damping Valve  
 RNS : Ribonucleinsäure  
 RON : Research Octane Number  
 ROZ : Research Oktan-Zahl

RWTOV : Rheinisch Westfälischer TOV  
 S : Senate  
 SEA : Selective Enforcement Auditing  
 SCAS : South Coast Air Shed  
 SENKEN : Senpaku Gijutsu Kenkyujo (Labor des MOT in Tokyo); heutiges: TRIAS (s.dort)  
 SHED : Sealed Housing for Evaporative Emission Determination  
 SIP : State Implementation Plan  
 SR : Sun Radiation  
 (S)SDS : (Steady State) Surveillance Driving Sequence  
 SSET : Steady State Emission Test  
 SSIT : Steady State Inspection Test  
 SWRI : South West Research Institute (in San Antonio, Texas)  
 SZ : Schwärzungszahl  
 TCS : Transmission Controlled Spark Advance  
 TDS : Type Designation System  
 TEL : Tetraethyl-Lead  
 TML : Tetramethyl-Lead  
 TMRIEP : Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection  
 TN : Temperatur Nebenschluß  
 TNS : Type Notification System  
 TO : Trap Oxidizer  
 TR : Thermal Reactor  
 TRIAS : Traffic Safety and Nuisance Research Institute of Automobile Type Approval Test Standard  
 TSP : Traffic Survey Panel; Total Suspended Particulates  
 TSV : Trafiksäkerhetsverk  
 TSZ : Transistorzündung  
 TVS : Thermo Valve Switch  
 TWC : Three Way Catalyst  
 UAW : United Auto Workers (USA)  
 UDDS : Urban Dynamometer Driving Schedule  
 USPHS : United States Public Health Service (siehe auch PHS)  
 VCP : Vehicle Combustion Products (Committee)  
 VDA : Verband der deutschen Automobilindustrie  
 VHC : Vacuum (operated) Exhaust Heat Control Valve  
 VPC : Vehicle Preparation Center  
 VVT : Variable Valve Timing  
 WHO : World Health Organization  
 YCLA-4 : Ypsilanti-Cincinnati-Los Angeles Straße Nr. 4

## 2. Abkürzungen deutscher Worte in Bildern

Aus Platzmangel mußten Begriffe in den Bildern teilweise abgekürzt werden. Um Übersetzungen in andere Sprachen zu erleichtern, sind diese Abkürzungen nachfolgend erklärt:

Abstimmg.	: Abstimmung	bzw.	: beziehungsweise
Admin.	: Administrator	ca.	: circa, etwa, ungefähr
akzept.	: akzeptabel	charakt.	: charakteristisch
anfert.(ig.)	: anfertigen	D	: designated
Anfordergn.	: Anforderungen	d	: der, die, das
Anm.d.Verf.	: Anmerkung des Verfassers	D.C.	: District County
anorg.	: anorganisch	d.h.	: das heißt (i.e.)
Art.	: Artikel	Div.	: Division
Atmosph.	} : Atmosphäre, atmosphärisch	dokum.	: dokumentieren
atmosph.		dto.	: dito, ebenso
ausarb.	: ausarbeiten	dtsch.	: deutsch
Ausführgs.-details:	Ausführungsdetails	Ø	: Durchschnitt
autom.	: automatisch	Durchsetz.(g.)	: Durchsetzung
Bem.	: Bemerkung	dyn.	: dynamisch
Beschl.,Beschleunign.:	Beschleunigung(en)	Einstellg.	: Einstellung
bew.	: bewertet	Emiss.	: Emission(en)

erf., erford. : erforderlich  
 Evap. : Evaporation, Evaporative  
 evtl. : eventuell  
 excl. : exclusive, außer  
 f. : für  
 ff. : und folgende  
 Fahrz., Fzg(e), Fzgn.: Fahrzeug, Fahrzeugen  
 Fahrzust. : Fahrzustand  
 festleg. : festlegen  
 Forderg. : Forderung  
 geg. : gegen  
 gemess. : gemessen  
 Geschw. : Geschwindigkeit  
 Gesetzgeb. : Gesetzgebung  
 gesetzl. : gesetzlich  
 Gesundh. : Gesundheit  
 Getr. : Getriebe  
 gew. : gewichtet  
 Handlgn. : Handlungen  
 hausint. : hausintern  
 Haussprech. : Haussprecher  
 i. : in, im  
 Immiss. : Immission  
 incl. : inclusive, eingeschlossen  
 in-vitro(-Tests): Tests "im Reagenzglas"  
 in-vivo(-Tests): Tests am Lebewesen  
 i.O. : in Ordnung  
 jährl. : jährlich  
 jed. : jede(r) (s)  
 jeweil. : jeweils, jeweilig  
 Kalif. : Kalifornien  
 Kap. : Kapitel  
 Konst. : konstant, Konstanz  
 Kontroll : kontrollieren  
 Konz.;Konzentrat.: Konzentration  
 korr. : korrigiert  
 Kraftst. : Kraftstoff  
 Lesg. : Lesung  
 LL : Leerlauf  
 m. : mit  
 max. Max. : maximal, Maximum  
 mech. : mechanisch  
 meß.(als Index) : aus Messung  
 Min. : Minute  
 min. : mindestens  
 Mitgl. : Mitglied  
 mittl. : mittler(e) (r) (es)  
 Mio. : Million ( $10^6$ )  
 mod.. modifiz.: modifiziert, modifizieren  
 n.b. : nota bene  
 ND : Non designated  
 o.g. : oben genannt  
 od. : oder  
 organ. : organisieren  
 Part. : Partikel  
 photochem. : photochemisch  
 physikal. : physikalisch

Pos. : Position  
 Präsid. : Präsident  
 prakt. : praktisch  
 rechn. : rechnerisch, aus Rechnung  
 rel. : relativ  
 Reprä. : Repräsentant  
 S. : Senate; Seite  
 s. : siehe  
 Sauerst. : Sauerstoff  
 Sec. : Section  
 Std. : Standard, Stunde  
 Transp. : Transport  
 Temp. : Temperatur  
 u. : und  
 u.a. : unter anderen (-m)  
 v. : von  
 verantwortl. : verantwortl.  
 Verbrenng. : Verbrennung  
 Verdunstgs. : Verdunstungs  
 Verwend. : Verwendung, verwenden  
 versch. : verschieden(e)  
 Verzögergn. : Verzögerungen  
 vollst. : vollständig  
 vorber., Vorber.: vorbereiten, Vorbereitung  
 vorschr., Vorschr.: vorschreiben, Vorschrift(en)  
 Wasserst. : Wasserstoff  
 Wdhlg. : Wiederholungen  
 wirtschaftl. : wirtschaftlich  
 z. : zur, zum  
 z.B. : zum Beispiel  
 z.T. : zum Teil  
 zugel. : zugelassen  
 zul. : zulässig  
 Zustd., Zust. : Zustand  
 Zykl. : Zyklus  
 Zyl., zyl. : Zylinder

### 3. Begriffserläuterungen

actual life	: angenommene Fahrzeuglebenserwartung (Nutzungsdauer) definiert als 10 Jahre oder 100 000 Meilen
add-on (device)	: am Motor äußerlich separat/zusätzlich angebautes Teil (hier: zur Emissionskontrolle)
administration	: Verwaltung
Admin./ Administrator	} : Leiter der Behörde (hier: Leiter der EPA)
air pollution index	: Zahlenwert zur Charakterisierung der Luftverunreinigung/Smog-Gefahr
alternative durability program	} : alternatives Dauerlaufverfahren zum Nachweis der Emissionsveränderung über der Fahrzeuglaufzeit
as amended	: wie ergänzt/erweitert
assembly line	: Serienproduktion
averaging	: Mittelwertbildung, Bewertung des Mittelwertes der Emissionen einer Motorfamilie/Fahrzeuggruppe/Fahrzeugpopulation eines Herstellers (im Gegensatz zum "each and every car concept" (s. dort)
backfire	: (Flammen-)rückschlag
background	: Hintergrund(-information), Umgebung(sverhältnisse)
baseline study	: Untersuchung zur Erfassung des (Emissions-)niveaus an ungereinigten Fahrzeugen
batch	: Los(-größe) bei einer statistischen Prüfung
carry over	: Übertragung von Daten von einem Modelljahr in das nächste ohne erneuten Testaufwand
carry across	: Übertragung von Daten einer Motorfamilie auf eine andere Motorfamilie ohne zusätzlichen Testaufwand
closed loop	: geschlossener (Regel-)Kreis
cold trapping	: Sammlung durch Kondensation
commodity tax	: entspricht deutscher Mehrwertsteuer (Japan)
compliance testing	: Überprüfung auf Erfüllung der Vorschriften
consent decree	: außergerichtliches Übereinkommen
county	: entspricht deutschem Landkreis
crack (Kraftstoff)	: Kraftstoff, der unter Zersetzung der Kohlenwasserstoffe des Rohöls in der Wärme entsteht (z.B. thermisches cracken, katalytisches cracken)
cut-off Wert cutpoint	} : Grenzwert, zugelassenes Limit, selbst gewählte oder vorgeschriebene Grenze
D.C.	: District County (z.B. Washington, D.C.)
defeat device	: "Sabotageschalter oder -schaltungen", die Teile des Emissionskontrollsystems unter bestimmten Bedingungen außer Funktion setzen
defect reporting	: Berichtspflicht (an die Behörde) über im Feld ausgefallene Teile des Emissionskontrollsystems
DNS repair mechanism	: Fähigkeit der DNS Schädigungen in ihrer Struktur in gewissen Grenzen wieder reparieren zu können, ohne daß mutagene, d.h. vererbliche Veränderungen zurückbleiben.
designated vehicles	: Japan: Fahrzeuge aller einheimischen Hersteller (und - bei Übernahme umfangreicher Test- und Dokumentationsverpflichtungen durch den Automobilhersteller - auch von Importeuren)
desk audit	: Überprüfung eines Herstellers durch die Behörde mittels Durchsicht des vom Hersteller an die Behörde einzureichenden Materials (d.h. kein Kontrollbesuch durch die Behörde beim Hersteller).
deterioration factor	: Verschlechterungsfaktor, gibt die Veränderung einer bestimmten Emission über der Fahrzeuglebenszeit an. In den USA definiert als rechnerischer Wert bei 50 000 Meilen dividiert durch rechnerischen Wert bei 4 000 Meilen (Rechnung einer Ausgleichsgeraden nach Methode der kleinsten Fehlerquadrate).
downsized (vehicles)	: Fahrzeuge, deren Baugröße (meist aus Gründen der Kraftstoffverbrauchseinsparung) verkleinert wurde
end of line	: Bandende (Serienproduktion)
enforcement	: Durchsetzung gesetzlicher Vorschriften
engine family	: Motorfamilie; Zusammenfassung von Fahrzeugen gleichartiger Motorhauptmaße und Reinigungsanlagen zwecks gemeinsamer Zulassungsmaßnahmen (Dauerlauf, 4 000 Meilenlauf, Zertifikatserhalt)
Executive Officer	: Leiter der Behörde (hier: Leiter des CARB)
extinction velocity	: Auslöschgeschwindigkeit (einer Flamme im Brennraum)
feed back	: Rückmeldung, z.B. über die Wirkung von Maßnahmen
Federal Register	: Bundesgesetzblatt der USA

field fix	: Übernahme von neuen Abgasreinigungseinrichtungen (Bauteile), die durch Zertifikation oder Running Changes von der Behörde für neue Serienfahrzeuge genehmigt wurden, in vergleichbare Typen älterer Modelljahre, zur Pflege des Abgasverhaltens oder nur zur Reduzierung der Ersatzteilhaltung.
good faith efforts	: größtmögliche Anstrengungen, das angegebene Ziel trotz begrenzter oder nicht vorhandener technischer Möglichkeiten zu erreichen
green engine (effect)	: (erhöhtes) Emissionsniveau eines neuen, noch nicht eingelaufenen Motors
hearing	: Anhörungsverfahren der Behörden während des Gesetzbildungsprozesses, um den Entwicklungsstand der Industrie abzuschätzen und Argumente anzuhören.
high altitude areas	: besiedelte Gebiete über 1200 m (4000 ft), in denen "high altitude regulations" zur Anwendung kommen.
high altitude regulations	: Vorschriften mit Abgasstandards für gasförmige Emissionen in besiedelten Höhengebieten über 1200 m (4000 ft).
import penetration	: Zulassungszahl von Importfahrzeugen im Verhältnis zu den gesamten Neuzulassungen
in-house	: Zum Hause (Automobilhersteller oder Behörde) gehörig, z.B. "in-house policy" = bestimmte (nicht unbedingt immer schriftlich fixierte) Vorgehensweise der EPA in speziellen Fällen (wie z.B. Nachttestkriterien bei Kraftstoffverbrauchstests)
in-use vehicles	: Fahrzeuge im täglichen Betrieb "Feldeinsatz" beim Eigentümer
key issue	: Hauptpunkt, Kernpunkt, Hauptthema
leak check	: Kontrolle auf Dichtheit (z.B. auf maximale Leckage eines SHED)
line crossing	: das Kreuzen der Ausgleichsgeraden mit der horizontalen Grenzwertgeraden im Dauerlaufdiagramm einer Schadstoffkomponente (s. auch "deterioration factor")
long-term	: Langzeit; z.B. Untersuchungen über den Einfluß von bestimmten Emissionen auf die Immission in großen Zeiträumen
non-attainment area	: Gebiet, in dem AAQS's nicht eingehalten werden
non-designated vehicle	: Japan: Fahrzeuge mit erleichtertem Zertifizierungsaufwand (hierunter fallen alle Importeure)
no effect level	: Konzentrationsniveau, das keine Auswirkungen hat
non tariff barrier	: Nicht-tarifäre Handelshemmnisse (z.B. protektionistisch wirkende Sonderauflagen, (Emissionskontroll-) Gesetze)
on-board	: z.B. Meß-, Registrier- und Auswertungsgeräte "an Bord" des Versuchsfahrzeugs, nicht extern angeschlossen/versorgt.
Override	: Maßnahme, die eine andere Maßnahme außer Kraft setzt.
parameter adjustment regulations	: Vorschriften über Verstellbarkeit einstellbarer Motorparameter (LL-Drehzahl etc.)
Part I, II, III	: Zeitlich nacheinander einzureichende Teile der Anmeldeunterlagen für die Abgaszertifizierung
ported vacuum	: Unterdruckbohrungen im Klappenstutzen, die von der Drosselklappe bei deren Betätigung überstrichen werden und dadurch von der Saugrohrseite auf die Atmosphärenseite gelangen
portliner	: Wärmeisolation (Auskleidung) im Auslaßkanal des Zylinderkopfes, um Abgase (für thermische Nachverbrennung) heißer zu halten
pre-delivery (check, preparation)	: vor Auslieferung (Kontrolle vor Auslieferung, Vorbereitung für Auslieferung)
prototype-to production slippage	: Unterschied der Emissionen eines Prototyps zu denen entsprechender Serienfahrzeuge (die, bedingt durch Toleranzen in der Serienfertigung ein höheres Emissionsniveau aufweisen)
quench	: (Flamme) löschen, z.B. im Quetschspalt eines Brennraums
questionnaire	: Fragebogen
recall	: Rückrufaktion (hier wegen Nichterfüllung von Abgasstandards z.B.)
response curve	: Kurve, die das Ansprechen z.B. verschiedener Bevölkerungsgruppen auf unterschiedliche Umweltbedingungen darstellt
retention check	: Dichtheitsprüfung eines SHED (Kontrolle einer vorgegebenen HC-Konzentration über der Zeit)
retest	: Wiederholungstest (bei der Behörde, z.B. wegen Ungültigkeit oder Nichtbestehens des ersten Tests oder wegen Nichterfüllung bestimmter Verbrauchskriterien)
revertant	: Rückbildung
right of entry	: Recht auf Zutritt, z.B. für behördlichen Kontrollbesuch oder Serienabgasmessung bei Hersteller
road draft tube	: Ableitung der Kurbelgehäuseentlüftungsgase mittels eines abwärts gerichteten Rohres auf die Fahrbahn
rollback technique	: Vergangenheits/Zukunfts-Projektion vom heutigen (bekannten) Zustand unter bestimmten Annahmen



running change	: Zulassungsverfahren für die Genehmigung abgasrelevanter Änderung während der Serienproduktion zertifizierter Fahrzeuge
sample	: Stichprobe
sea level standards	: Grenzwerte, die in Höhen bis zu 1200 m (4000 ft) gelten
sequencing	: zeitlich gestaffeltes Einreichen von Unterlagen an Zulassungsbehörde
sequential testing	: Folgetestverfahren mit verschiedenen Prüfobjekten
short-term	: Kurzzeit (analog. "long-term", s.dort)
soak (cold, hot)	: Abstellen eines Fahrzeugs mit kaltem oder heißem Motor
span gas	: Eichgas
state of the art	: Stand der Technik
statutory standards	: Zielgrenzwerte, wie ursprünglich im Gesetz festgelegt und mehrfach aufgeschoben
straight-run fuel	: in der Destillationskolonne anfallendes Rohbenzin bei der Rohöldestillation
subpoena	: Aufforderung (z.B. zu einer Anhörung) vor der Behörde zu erscheinen, unter Strafandrohung bei Nichtbefolgen
Surgeon General	: Gesundheitsminister
Surveillance testing	: Kontrolle des Abgasverhaltens von Fahrzeugen im Feldeinsatz
Suspension (~ request) (~ ~ hearing)	: Aufschub (z.B. von Standards) Aufschubantrag Anhörung zum Aufschubantrag
tampering	: absichtliches Außerbetriebsetzen einer Abgasreinigungsanlage
target coast down time	: Ausrollzeit eines Fahrzeugs auf einem Rollenprüfstand als Maß für den insgesamt simulierten Fahrwiderstand
technological feasibility	: Technologische Realisierbarkeit
technology forcing	: Erzwingen einer zu dem entsprechenden Zeitpunkt noch nicht vorhandenen Technologie durch gesetzliche Forderungen
test order	: Schreiben der Behörde an den Hersteller zur Durchführung einer behördlichen Serienkontrolle (SEA-Programm)
total absorbed road load	: Fahrwiderstand des Fahrzeugs auf der Straße, entspricht der bei einem Test auf einem Rollenprüfstand insgesamt zu absorbierenden Last
two car strategy	: Einsatz unterschiedlich gereinigter Fahrzeuge für unterschiedlich belastete Gebiete (Stadt/Land)
useful life	: gesetzlich definierte Fahrzeuglebensdauer zur Bestimmung von Verschlechterungsfaktoren, für den Zeitraum der Abgasgarantie und Abgas-Re-call Aktionen
Waiver	: Ausnahmegenehmigung (z.B. für eine Grenzwert erleichterung)
Warranty	: Garantie, Gewährleistung

### Danksagung

Folgenden Damen und Herren sei für spezielle Unterstützung des Verfassers durch Gewährung von Interviews, Bereitstellung oder Beschaffung von Informationen, Erlaubnis zur Einsichtnahme in Archive und Akten sowie mündliche und schriftliche Diskussion verschiedener in dieser Arbeit vorgestellter Gedanken und Fakten gedankt:

Altwickler, E.R.	(für Lipták, B.G., Autor von (30)); Troy, New York
Åsander, S.	AB Svensk Bilprovning; Stockholm
Åslander, O.	Statens Naturvårdsverk; Solna
Bach, W.	Autor von (36) bis (40); Universität Münster
Beal, W.P.	US-EPA, Research Triangle Park, N.C.;
Bonamassa, F.	California Air Resources Board, Sacramento
Brune, E.J.	General Motors Corp.; (vormals: US-EPA Ann Arbor, Mich.)
Byrne, J.L.	General Motors Corp.
Davis, D.H.	US-EPA Ann Arbor, Mich.
Dovrell, B.	Statens Naturvårdsverk, Solna; vormals: Trafiksäkerhetsverk *
Drexler, K.	Mercedes-Benz of North America, Inc., Montvale, N.J.
Egebäck, K.E.	AB Atomenergi, Studsvik; S
Ellmann, M.W.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Elston, J.C.	New Jersey State Department of Environmental Protection, Bureau of Air Pollution Control, Trenton, N.J.
de Filippis, A.	Bureau of Motor Vehicle Pollution Control, City of New York
Freed, C.N.	US-EPA, Washington, D.C.
Freund, A.	Attorney at Law, with: Mercedes-Benz of North America, Inc., Montvale
Garbe, R.J.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Hass, G.C.	California Air Resources Board, El Monte
Herrbrich, B.	Mercedes-Benz of North America, Inc., Montvale, N.J.
Holmes, J.G.	Energy and Environmental Analysis, Inc., Washington, D.C.
Homan, R.	Carl Schenck A.G., Darmstadt D
Hostak, M.	California Air Resources Board, El Monte
Huls, T.A.	Ford Motor Co., Detroit; vormals: US-EPA Ann Arbor, Mich.
Hutchins, F.P.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Jackson, B.R.	US-EPA, Washington, D.C.
Jensen, D.A.	Ford Motor Co.; Detroit; vormals: California Air Resources Board
Johansson, E.	Philipsons Automobil AB, Sollentuna S
Kageyama, K.	Society of Automotive Engineers of Japan, Inc., Tokyo
Kinosian, J.R.	California Air Resources Board, Sacramento
Kruse, R.E.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Kuhler, M.	Volkswagen AG, Wolfsburg
Kuhlman, K.R.	Department of Commerce, Washington, D.C.
Kumagai, S.	Western Automobile Co., Ltd., Tokyo
Liskey, M.E.	American Motors Corp., Detroit
Luczinsky, M.	California Air Resources Board, El Monte
Marzen, J.M.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Nordgren, C.	Sveriges Bilindustri-och Bilgrossistförening, Stockholm
Patterson, D.J.	Autor von (46)
Platte, L.A.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Raher, P.M.	Attorney at Law, with: Hogan & Hartson, Washington, D.C.
Schürmann, D.	Volkswagen AG, Wolfsburg
Somers, J.H.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Sonosky, J.N.	Attorney at Law, with: Hogan & Hartson, Washington, D.C.
Stahman, R.C.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Steinhoff, B.	Mercedes-Benz of North America, Inc., Montvale, N.J.
Stern, A.C.	Hrsg. von (31), (41) u.a.
Stork, E.O.	Environmental Research & Technology, Inc., Washington, D.C. vormals: US-EPA, Washington, D.C.
Strömberg, N.	AB Svensk Bilprovning, Stockholm; vormals: Trafiksäkerhetsverk *
Thompson, G.D.	US-EPA, Ann Arbor, Mich.
Tsuda, S.	Western Automobile Co., Ltd., Tokyo

Walsh, M.P.      vormal: US-EPA, Washington, D.C.  
Williams, M.E.    US-EPA, Ann Arbor, Mich.  
Yoshihara, K.    MOT-Laboratory, Mitaka (Tokyo)  
Zaalberg, J.C.    Clayton of Belgium, Bornem B

\* in Borlänge, S.

## L E B E N S L A U F

### Persönliches :

27.2.1939 geboren in Zerbst (Anh.). Eltern: Otto Berg und Ehefrau Gertrud, geb. Pietschner

seit 1972 verheiratet mit Kirsten Berg, geb. Baldauf, 2 Kinder.

### Ausbildung :

Ostern 1945 Einschulung in Zerbst. Umzug nach Peine und dort Wiederholung der ersten Volksschulklasse.

bis 1953 Besuch der Volksschule und der ersten beiden Klassen der Oberschule in Peine. Dann erneuter Umzug nach Hankensbüttel.

1953 bis 1960 Besuch des Gymnasiums Hankensbüttel.

Februar 1960 Abitur (neusprachlicher Zweig) in Hankensbüttel.

6.4. bis 7.9.60 Praktika bei den Wilke-Werken und der Gießerei Kliemke in Braunschweig sowie bei der Deutschen Erdöl Aktiengesellschaft (DEA) in Hohne-Wietze. Nach Vordiplom an der TH Braunschweig weitere Praktika bei der Deutschen Lufthansa Hamburg, dem Hamburger Flugzeugbau und der Deutschen Forschungsanstalt für Luftfahrt in Braunschweig.

8. Mai 1967 Diplom-Hauptprüfung an der TH Braunschweig

12.12.66 bis 31.5.1967 Diplomarbeit bei der Daimler-Benz AG in Stuttgart über Abgasemissionen von Benzin-Einspritzmotoren.

### Berufstätigkeit :

1. August 1967 Eintritt als Sachbearbeiter für die Entwicklung von Emissionskontrollsystemen an Pkw-Einspritzmotoren bei der Daimler-Benz AG, Stuttgart.

1.11.1969 Leiter der Gruppe "Emissionskontrolle Einspritzmotoren"

1. 1.1971 Leiter der Hauptgruppe "Serienzulassung und Behörden"

1. 1.1973 Leiter der Abteilung "Abgaszulassung und Behörden"